



ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΝΕΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ

οδηγός παράστασης

ο αγγελιοφόρος του σύμπαντος

Η παράσταση με τίτλο «Ο Αγγελιοφόρος του Σύμπαντος» σας προσκαλεί σε ένα συναρπαστικό ταξίδι γνωριμίας με το φως. Το ορατό φως δεν είναι παρά ένα ελάχιστο μόνο τμήμα της ακτινοβολίας που εκπέμπουν τα ουράνια σώματα. Από τη στιγμή, όμως, που κατασκευάσαμε τηλεσκόπια, τα οποία «βλέπουν» και σε διαφορετικά μήκη κύματος, οι αστρονομικές μας γνώσεις πολλαπλασιάστηκαν ραγδαία. Από τα μεγάλα αστεροσκοπεία στην έρημο Ατακάμα της Χιλής, έως το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble, και από την εξερεύνηση του Ηλιακού Συστήματος έως τους τηλεπικοινωνιακούς μας δορυφόρους, η παράσταση αυτή αναδεικνύει την σημασία που έχει το φως στην αστρονομική έρευνα, καθώς και τα οφέλη που προκύπτουν από την εξερεύνηση του Διαστήματος και την επιστημονική έρευνα γενικότερα.

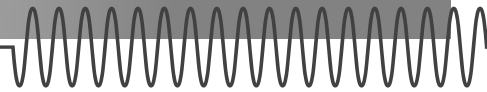




ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΩΝ
ΝΕΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ

οδηγός παράστασης

ο αγγελιοφόρος του σύμπαντος



ΑΛΕΞΗ Α. ΔΕΛΗΒΟΡΙΑ

Αστρονόμου Ευγενιδείου Πλανηταρίου

Αθήνα
2015

Περιεχόμενα

Πρόλογος



1. Εισαγωγή: Ο Αγγελιοφόρος του Σύμπαντος 6



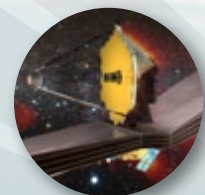
2. Παράθυρα στο Σύμπαν 16



3. Τα Μεγάλα Αστεροσκοπεία του ESO στην Χιλή..... 26



4. Τα Μεγάλα Τροχιακά Αστεροσκοπεία της NASA..... 36



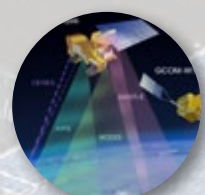
5. Το Διαστημικό Τηλεσκόπιο James Webb 48



6. Ανιχνευτές Νετρίνων και Βαρυτικών Κυμάτων..... 60



7. Η Εξερεύνηση του Ηλιακού Συστήματος..... 70



8. Τηλεπικοινωνιακοί και Μετεωρολογικοί Δορυφόροι..... 80



9. Επίλογος: Τα Οφέλη της Επιστημονικής Έρευνας 90

Βιβλιογραφία104

Συντελεστές.....106

Πρόλογος

Το Νέο Ψηφιακό Πλανητάριο του Ιδρύματος Ευγενίδου, ένα από τα μεγαλύτερα και καλύτερα εξοπλισμένα ψηφιακά πλανητάρια στον κόσμο, διαθέτει όλες τις δημιουργικές και τεχνικές δυνατότητες που παρέχουν τα σύγχρονα οπτικοακουστικά μέσα και οι νέες τεχνολογίες, τις οποίες συνδυάζει, προκειμένου να αφηγηθεί την ιστορία της επιστήμης μ' έναν συναρπαστικό τρόπο. Η συνεισφορά του Ευγενιδείου Πλανηταρίου στην βελτίωση της ποιότητας της επιστημονικής επιμόρφωσης του κοινού της χώρας μας συνεχίζεται, γνωστοποιώντας και μέσα από τις ψηφιακές του παραγωγές τα επιτεύγματα της επιστήμης στο ευρύ κοινό και διαφωτίζοντάς το σχετικά με τη φύση της επιστημονικής έρευνας και της τεχνολογίας.

Στις 20 Δεκεμβρίου 2013, ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών ανακήρυξε το 2015 ως το Διεθνές Έτος Φωτός, η επίσημη έναρξη του οποίου κηρύχθηκε στα κεντρικά γραφεία του Εκπαιδευτικού, Επιστημονικού και Πολιτιστικού Οργανισμού των Ηνωμένων Εθνών (UNESCO), στις 19-20 Ιανουαρίου 2015 στο Παρίσι. Η διεθνής αυτή πρωτοβουλία στοχεύει να αναδείξει παγκοσμίως τον τρόπο με τον οποίο το φως, αλλά και οι τεχνολογίες που σχετίζονται μ' αυτό, επηρεάζουν κάθε έκφανση της ανθρώπινης ζωής.

Συμμετέχοντας ενεργά στους εορτασμούς για το Διεθνές Έτος Φωτός, το Νέο Ψηφιακό Πλανητάριο του Ιδρύματος Ευγενίδου παρουσιάζει την νέα ψηφιακή παράσταση με τίτλο «Ο Αγγελιοφόρος του Σύμπαντος». Πρόκειται για ένα συναρπαστικό ταξίδι γνωριμίας με το φως, που θα μας αποκαλύψει πολλά. Το ορατό φως δεν είναι παρά ένα ελάχιστο τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπουν τα ουράνια σώματα, αλλά και το μοναδικό που αντιλαμβάνεται η ανθρώπινη όραση. Γι' αυτό και το μόνο που μπορούμε να διακρίνουμε στον έναστρο ουρανό με γυμνό οφθαλμό είναι τα άστρα που τον στολίζουν. Από τη στιγμή, όμως, που κατασκευάσαμε τηλεσκόπια, τα οποία είχαν την δυνατότητα να «βλέπουν» και σε διαφορετικά μήκη κύματος εκτός από το ορατό, οι αστρονομικές μας γνώσεις πολλαπλασιάστηκαν ραγδαία, αφού η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία εμπεριέχει σε κωδικοποιημένη μορφή όλες σχεδόν τις πληροφορίες που έχουμε συλλέξει για τα άστρα, τους γαλαξίες και το Σύμπαν. Το φως, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σωστότερα, είναι ο πραγματικός «Αγγελιοφόρος του Σύμπαντος» και οι αστρονόμοι δεν έχουν παρά να αποκωδικοποιήσουν τα μηνύματα που μεταφέρει. Από τα μεγάλα αστεροσκοπεία στην έρημο Ατακάμα της Χιλής, έως το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble, αλλά και έως το James Webb, τον διάδοχό του, από την εξερεύνηση του Ηλιακού Συστήματος έως τους τηλεπικοινωνιακούς και μετεωρολογικούς μας δορυφόρους, το ψηφιακό αυτό ταξίδι δεν

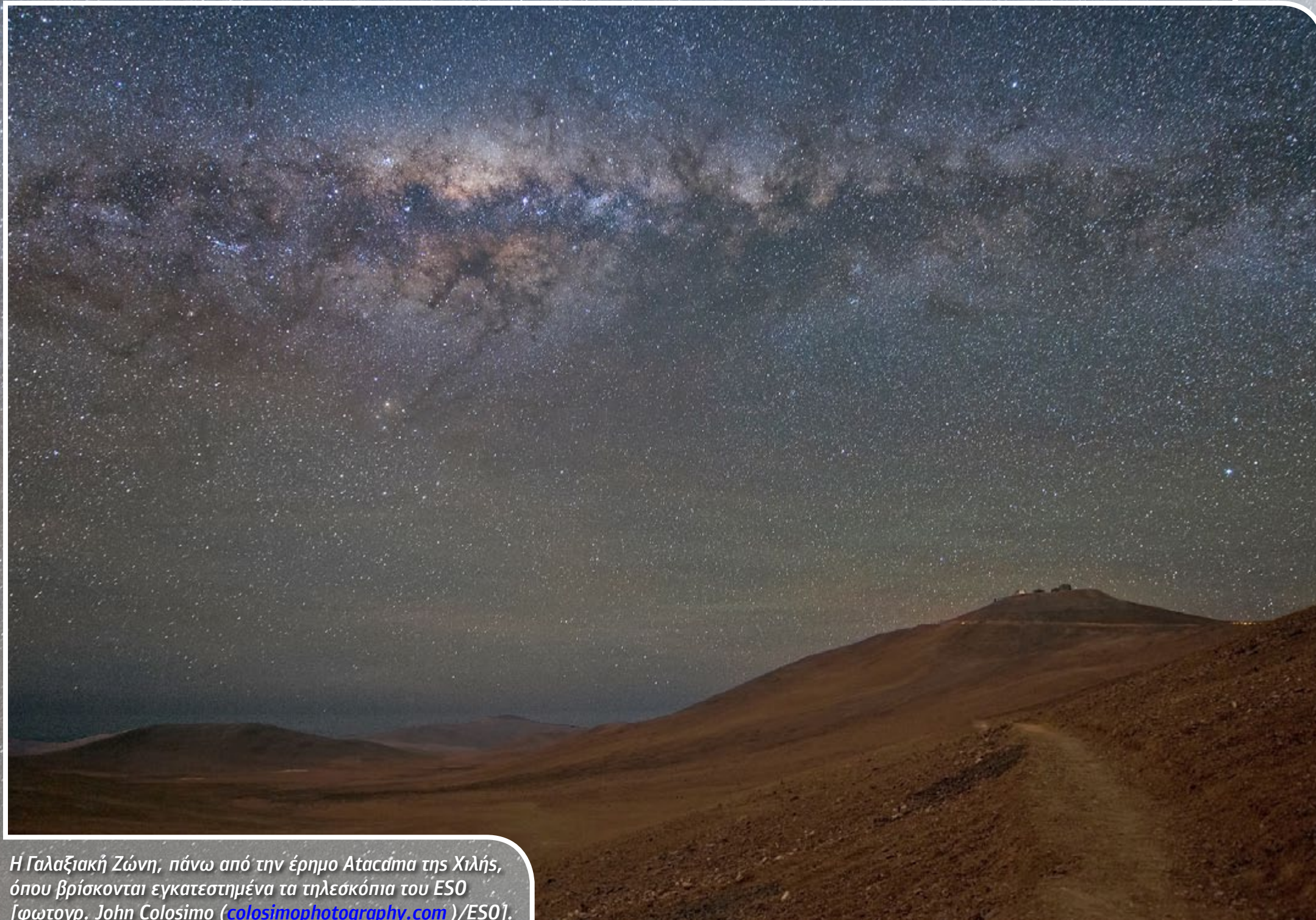
αναδεικνύει μόνο την σημασία του φωτός στην αστρονομική έρευνα, αλλά και τα πολλαπλά οφέλη που προκύπτουν από την εξερεύνηση του Διαστήματος και την επιστημονική έρευνα γενικότερα.

Ο Οδηγός αυτός ακολουθεί την παράδοση της παρουσίασης επιπλέον στοιχείων που θα ήταν αδύνατο να συμπεριληφθούν σε μια παράσταση 40 μόλις λεπτών και τα οποία προσφέρουν μια πιο ολοκληρωμένη και σαφή εικόνα, τόσο για τη φύση του φωτός όσο και για όλο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα γενικότερα. Περιλαμβάνει κεφάλαια που αφορούν στα μεγάλα τηλεσκόπια του Ευρωπαϊκού Νότιου Αστεροσκοπείου (ESO) στην Χιλή, και στα επονομαζόμενα μεγάλα τροχιακά αστεροσκοπεία της NASA, καθώς και στο διαστημικό τηλεσκόπιο James Webb. Ακολουθώντας, εξετάζεται η συναρπαστική δυνατότητα που παρέχουν τα νετρίνα και τα βαρυτικά κύματα στους αστρονόμους, προκειμένου να συλλέξουν πληροφορίες για φαινόμενα του Σύμπαντος, που η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αδυνατεί, από τη φύση της, να μας μεταφέρει. Ο Οδηγός ολοκληρώνεται αναφερόμενος στην σημασία που έχει η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία για την επικοινωνία με τις διαστημοσυσκευές που εξερευνούν το Ηλιακό Σύστημα, για τις παγκόσμιες τηλεπικοινωνίες και την μελέτη μέσω δορυφόρων των φυσικών φαινομένων που εκδηλώνονται στο γήινο σύστημα, καθώς και στα γενικότερα οφέλη που προκύπτουν από την διαστημική έρευνα.

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

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

Μάνος Κιτσώνας
Διευθυντής Ευγενιδείου Πλανηταρίου



Η Γαλαξιακή Ζώνη, πάνω από την έρημο Atacama της Χιλής, όπου βρίσκονται εγκατεστημένα τα τηλεσκόπια του ESO [φωτογρ. John Colosimo (colosimophotography.com)/ESO].

1. Εισαγωγή: Ο Αγγελιοφόρος του Σύμπαντος

Είναι στην φύση μας να θέτουμε ερωτήματα και να αναζητούμε απαντήσεις για τα φυσικά φαινόμενα. Το άσβεστο αυτό πνεύμα της εξερεύνησης, που χαρακτηρίζει το ανθρώπινο γένος, ήταν η κινητήρια δύναμη πίσω από κάθε μεγάλη επιστημονική ανακάλυψη. Για χιλιάδες χρόνια, όμως, τα μάτια μας ήταν τα μοναδικά «όργανα παρατήρησης» που διαθέταμε. Η ανθρώπινη όραση, ο τρόπος δηλαδή που τα μάτια και ο εγκέφαλός μας αλληλεπιδρούν με το φως και μας επιτρέπουν να βλέπουμε, τελειοποιήθηκε στην διάρκεια εκατομμυρίων χρόνων βιολογικής εξέλιξης. Όταν εστιάζουμε σε κάτι που έλκει την προσοχή μας, τα μάτια μας συλλαμβάνουν το φως που ανακλάται από τα αντικείμενα που παρατηρούμε και το μετατρέπουν σε ηλεκτρικά σήματα. Τα σήματα αυτά μεταφέρονται στον εγκέφαλο, διά μέσου του οπτικού νεύρου, όπου και «μεταφράζονται» σε εικόνες. Υπάρχει όμως ένα όριο σε όλα όσα μπορούμε να δούμε.



Γιατί το ορατό φως δεν είναι παρά ένα ελάχιστο μόνο τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπουν τα ουράνια σώματα. Γι' αυτό και το μόνο που μπορούμε να διακρίνουμε στον έναστρο ουρανό με γυμνό οφθαλμό είναι αυτές οι μικροσκοπικές φωτεινές πηγές που τον στολίζουν. Από τη στιγμή, όμως, που κατασκευάσαμε τηλεσκόπια, τα οποία είχαν την δυνατότητα να «βλέπουν» σε διαφορετικά μήκη κύματος εκτός από το ορατό, οι αστρονομικές μας γνώσεις πολλαπλασιάστηκαν ραγδαία. Γιατί το φως, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σωστότερα, περιέχει σε κωδικοποιημένη μορφή όλες σχεδόν τις πληροφορίες που έχουμε συλλέξει για τα άστρα, τους γαλαξίες και το Σύμπαν. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, με άλλα λόγια, είναι Αγγελιοφόρος του Σύμπαντος και οι αστρονόμοι δεν έχουν παρά να αποκωδικοποιήσουν τα μηνύματα που μεταφέρει.

Το πρώτο σημαντικό βήμα που συνέβαλε στην κατανόηση της φύσης του φωτός αφορούσε στην σύνθεση του λευκού φωτός και πραγματοποιήθηκε στα μέσα περίπου του 17^{ου} αιώνα από τον **Ισαάκ Νεύτωνα** (1642–1726), έναν από τους σπουδαιότερους επιστήμονες όλων των εποχών. Πειραματιζόμενος με ένα γυάλινο πρίσμα και το φως του Ήλιου, ο Νεύτωνας ανακάλυψε ότι όταν το λευκό ή **ορατό φως** διέρχεται μέσα από το πρίσμα, αναλύεται σε διαφορετικά χρώματα. Όπως γνωρίζουμε σήμερα, αυτό συμβαίνει γιατί το ορατό φως αποτελείται από διαφορετικά μήκη κύματος, καθένα απ' τα οποία αντιστοιχεί και σε διαφορετικό χρώμα, τα οποία

διαθλώνται, εκτρέπονται δηλαδή με διαφορετική γωνία, τόσο όταν εισέρχονται, όσο και όταν εξέρχονται απ' το πρίσμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αναλύεται το λευκό φως στα χρώματα που το αποτελούν, όπως δηλαδή συμβαίνει με το ουράνιο τόξο, το οποίο σχηματίζεται όταν το φως του Ήλιου διαθλάται, καθώς διέρχεται μέσα από τα σταγονίδια της βροχής που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα.

Εκείνη την εποχή, όμως, η φύση του φωτός προκαλούσε μεγάλες διαμάχες ανάμεσα στους επιστήμονες. Για παράδειγμα, ενώ ο Νεύτωνας θεωρούσε ότι το φως αποτελείται από μικροσκοπικά σωματίδια, ο σύγχρονός του Ολλανδός



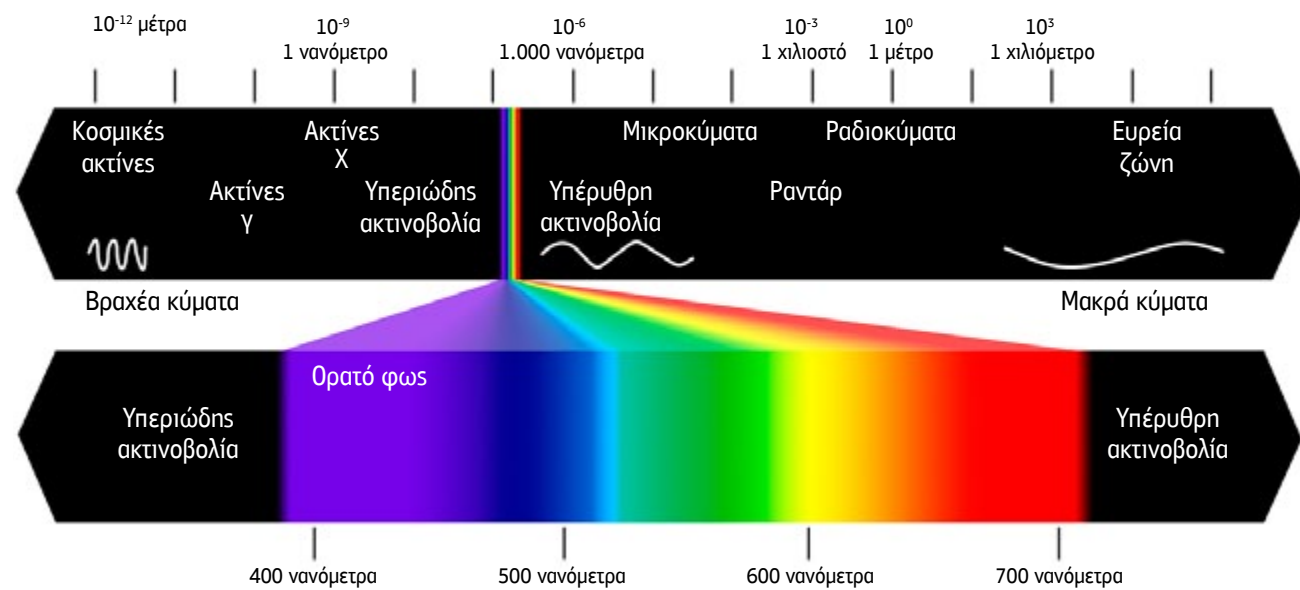
Πορτρέτο του Νεύτωνα, πειραματιζόμενου με το φως και ένα πρίσμα, σε γκραβούρα του J.A. Houston, 1879.

Christiaan Huygens, (1629-1695) υποστήριζε ότι το φως συμπεριφέρεται ως κύμα και ότι διαδίδεται στον χώρο, όπως περίπου διαδίδονται και τα κύματα που σχηματίζονται στο νερό μιας λίμνης, όταν ρίξουμε μια πέτρα. Η διαμάχη αυτή περί της σωματιδιακής ή κυματικής φύσης του φωτός διήρκεσε, όπως θα δούμε, σχεδόν 3 αιώνες.

Στα χρόνια που ακολούθησαν, σπουδαίοι επιστήμονες, όπως ο Huygens, ο Άγγλος φυσικός **Thomas Young** (1773–1829), ο Γάλλος φυσικός **Augustin-Jean Fresnel** (1788 –1827), ο Άγγλος επιστήμονας **Michael Faraday** (1791–1867) κ.ά., ερμήνευσαν σχεδόν κάθε γνωστό φαινόμενο που σχετιζόταν με το φως, βασιζόμενοι στη θεμελιώδη παραδοχή ότι το φως διαδίδεται ως κύμα. Το γεγονός αυτό εδραίωσε ακόμη περισσότερο την κυματική του φύση. Εάν, όμως, το φως συμπεριφερόταν ως κύμα, τότε με ποιον ακριβώς τρόπο μπορούσε να διαδίδεται στον χώρο, και πολύ περισσότερο στο κενό του Διαστήματος; Τα ηχητικά κύματα, για παράδειγμα, διαδίδονται στον χώρο μέσα από την ταλάντωση των μορίων του αέρα,

τα οποία μεταφέρουν την ενέργειά τους στα γειτονικά τους μόρια κ.ο.κ., δηλαδή απαιτούν την «μεσολάβηση» κάποιου υλικού μέσου. Γι' αυτό εξάλλου και σε αντίθεση με ό,τι βλέπουμε συχνά σε ταινίες επιστημονικής φαντασίας, ο ήχος δεν μπορεί να διαδοθεί και κατά συνέπεια να «ακουστεί» στο διαστημικό κενό. Κατά αντίστοιχο τρόπο, θεωρούσαν οι επιστήμονες της εποχής, έπρε-

Πολλαπλό ουράνιο τόξο στη Νορβηγία (φωτογρ. Copyright: Terje O. Nordvik).



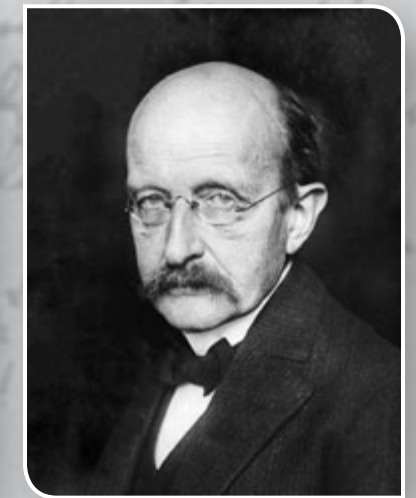
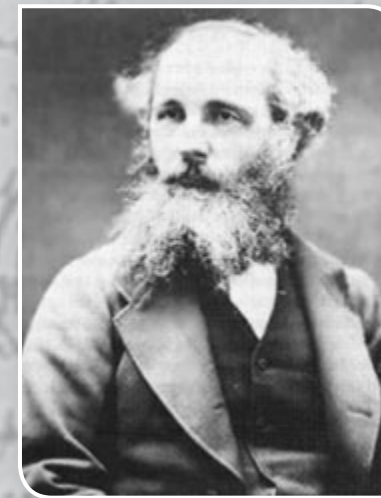
Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

πε να διαδίδεται και το φως, γεγονός που τους ώθησε να υιοθετήσουν την άποψη ότι στο κενό Διάστημα ενυπάρχει παντού και προς κάθε κατεύθυνση μια «ουσία», ένα «μέσο», με την βοήθεια του οποίου διαδίδεται το φως, που ονομάστηκε **αιθέρας**.

Το επόμενο μεγάλο άλμα στην προσπάθεια των επιστημόνων να κατανοήσουν την φύση του φωτός πραγματοποιήθηκε στα μέσα περίπου του 19^{ου} αιώνα, από τον Σκοτσέζο φυσικό **James Clerk Maxwell** (1831-1879). Ο Maxwell ενοποίησε τα μέχρι τότε διακριτά και φαινομενικά άσχετα μεταξύ τους ηλεκτρικά, μαγνητικά και οπτικά φαινόμενα σε μια ενιαία θεωρία την **ηλεκτρομαγνητική**, υπολογίζοντας παράλληλα ότι κάθε ηλεκτρομαγνητική διαταραχή ταξιδεύει στο κενό με σταθερή ταχύτητα, ίση με την ταχύτητα του φωτός. Σύμφωνα μ' αυτήν την ενοποιημένη θεωρία του ηλεκτρομαγνητισμού, το ορατό

φως είναι μια μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, δηλαδή μεταβαλλόμενων ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων, που διαδίδονται στον χώρο ως ηλεκτρομαγνητικά κύματα, με ταχύτητα που στο κενό είναι πάντοτε η ίδια, δηλαδή περίπου 300.000 km/s. Κάθε ηλεκτρομαγνητικό κύμα περιγράφεται με βάση το **μήκος κύματος** (την απόσταση δηλ. μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών του κύματος), την **συχνότητα** (δηλ. τον αριθμό των διαδοχικών κορυφών που διέρχονται από ένα συγκεκριμένο σημείο κάθε δευτερόλεπτο) ή την **ενέργεια** που του αντιστοιχεί.

Ήδη, όμως, από τις αρχές του 19^{ου} αιώνα είχε αρχίσει παράλληλα να γίνεται αντιληπτό ότι το ορατό φως δεν είναι παρά ένα ελάχιστο μόνο τμήμα ενός πολύ ευρύτερου φάσματος συχνοτήτων και ενεργειών, που συνθέτουν το **ηλεκτρομαγνητικό φάσμα**. Η πρώτη ανακάλυψη που επιβεβαίωσε του λόγου το αληθές οφείλεται στον



Από αριστερά προς τα δεξιά, ο James Clerk Maxwell, ο Wilhelm Röntgen και ο Max Planck.

Γερμανό αστρονόμο **William Herschel** (1738–1822), ο οποίος διαπίστωσε το 1800 ότι όταν τοποθετούσε ένα θερμόμετρο δίπλα στο κόκκινο τμήμα του οπτικού φάσματος, αυτό κατέγραφε άνοδο της θερμοκρασίας. Το γεγονός αυτό τον οδήγησε στο συμπέρασμα ότι είχε ανακαλύψει την ύπαρξη μιας «αόρατης» στα μάτια μας ακτινοβολίας «πέρα από το ερυθρό», την οποία και ονόμασε **υπέρυθρη ακτινοβολία**. Στις δεκαετίες που ακολούθησαν, ανακαλύφθηκαν όλες οι ακτινοβολίες που συνθέτουν το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα: το 1801 ο Γερμανός χημικός **Johann Ritter** (1778–1810) ανακάλυψε την υπεριώδη ακτινοβολία, ενώ το 1888 ανακαλύφθηκαν και τα ραδιοκύματα από τον επίσης Γερμανό **Heinrich Hertz** (1857–1894). Ο Γερμανός φυσικός **Wilhelm Röntgen** (1845–1923) ανακάλυψε τις ακτίνες Χ το 1895 και τέλος, το 1900, ο Γάλλος χημικός **Paul Villard** (1860–1934) ανακάλυψε

τις ακτίνες γ, την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με την υψηλότερη ενέργεια.

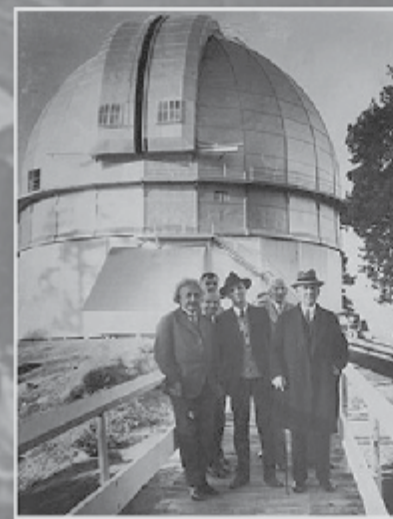
Και όμως, παρά τις σημαντικές αυτές επιτυχίες, η θεωρία της κυματικής φύσης του φωτός αντιμετώπιζε δύο σοβαρά προβλήματα. Όπως θα δούμε στην συνέχεια, η επίλυση των δύο αυτών προβλημάτων οφείλεται στον ίδιο άνθρωπο, η ευφυΐα του οποίου άνοιξε διάπλατα τον δρόμο για την ραγδαία ανάπτυξη της σύγχρονης φυσικής: τον **Άλμπερτ Αϊνστάιν** (1879–1955). Το πρώτο σημαντικό πρόβλημα ήταν ότι το **φωτοηλεκτρικό φαινόμενο**, σύμφωνα με το οποίο η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια μεταλλική πλάκα απελευθερώνει ηλεκτρόνια, δεν μπορούσε να ερμηνευθεί με βάση την κυματική φύση του φωτός. Με την αυγή, όμως, του 20^{ου} αιώνα, ο Γερμανός φυσικός **Max Planck** (1858–1947) στην προσπάθειά του να εμβαθύνει στον τρόπο, με τον οποίο η ακτινοβολία που εκπέμπει

ένα σώμα σχετίζεται με τη θερμοκρασία του, υιοθέτησε την άποψη ότι η ενέργεια ενός μορίου σε ταλάντωση μπορούσε να λάβει μόνο συγκεκριμένες, διακριτές τιμές. Με άλλα λόγια ότι τα άτομα απορροφούν και εκπέμπουν ενέργεια ασυνεχώς, με τη μορφή μικρών «πακέτων» ενέργειας, που ονομάστηκαν **κβάντα**. Την σκυτάλη στη συνέχεια πήρε ο Αϊνστάιν, ένας σχεδόν άγνωστος τότε νέος 26 μόλις ετών, ο οποίος κατάφερε να εξηγήσει το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, υιοθετώντας τη βασική ιδέα του Planck για τα κβάντα. Η ερμηνεία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου από τον Αϊνστάιν, βασισμένη στην παραδοχή ότι και το φως μεταφέρει την ενέργειά του σε μικρά «πακέτα» ενέργειας, αποτέλεσε σταθμό στην μετέπειτα εξέλιξη των ιδεών στις φυσικές επιστήμες. Προσδίδοντας σωματιδιακές ιδιότητες στο φως, υιοθετώντας δηλαδή την θέση ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτελείται από μικροσκοπικά σωματίδια ή κβάντα φωτός, που αρκετά αργότερα ονομάστηκαν **φωτόνια**, ο Αϊνστάιν κατέληξε σε μια φυσική ερμηνεία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου που, όχι μόνο του χάρισε το Νόμπελ Φυσικής το 1921, αλλά έδωσε και το έναυσμα για την ραγδαία ανάπτυξη της κβαντικής φυσικής που ακολούθησε.

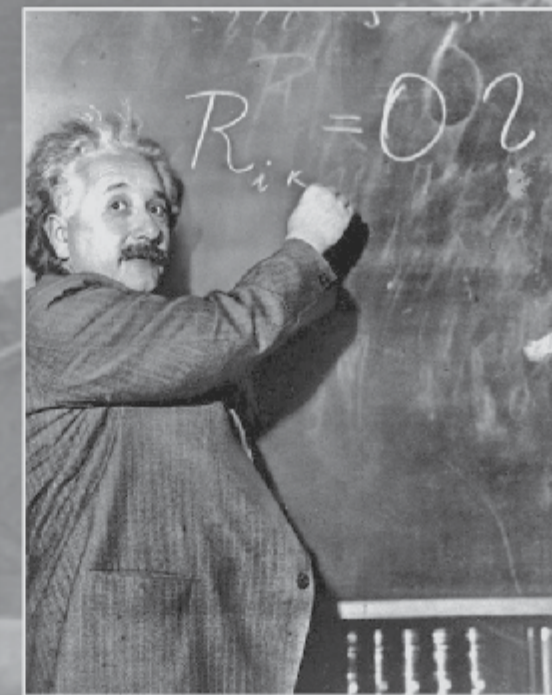
Το δεύτερο πρόβλημα δεν ήταν άλλο από την υπόθεση του αιθέρα, καθώς όλες οι προσπάθειες που είχαν πραγματοποιηθεί ως τότε, προκειμένου να αποδειχθεί η ύπαρξή του είχαν αποτύχει. Η αρχή του τέλους για την υπόθεση του αιθέρα, ήρθε το 1887, όταν οι Αμερικανοί φυσικοί **Albert Michelson** (1852–1931) και **Edward Morley** (1838–1923) προσπάθησαν με τα πειράματά

τους να εξακριβώσουν τον τρόπο με τον οποίο η κίνηση της Γης διά μέσου του αιθέρα θα επηρέαζε την ταχύτητα του φωτός. Το απρόσμενο γι' αυτούς, αλλά και για τους υπόλοιπους επιστήμονες της εποχής τους, πειραματικό αποτέλεσμα ήταν ότι η ταχύτητα του φωτός παρέμενε σταθερή, ανεξάρτητα από την κίνηση της Γης, αλλά και σε πλήρη αντίθεση με ό,τι θα περίμενε κάποιος βασισμένος στην κλασική Νευτώνεια φυσική. Οι Michelson και Morley, με το πείραμα αυτό που έκτοτε φέρει τα ονόματά τους, δεν είχαν μόνο αποδείξει ότι η μυστηριώδης αυτή ουσία δεν υπήρχε στο Διάστημα, αλλά και ότι οι θεωρίες του Νεύτωνα και του Maxwell αδυνατούσαν από μόνες τους να εξηγήσουν σε βάθος την συμπεριφορά της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Την ευφυή λύση έδωσε και πάλι ο Αϊνστάιν, τρεις μόλις μήνες μετά την ερμηνεία του για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, όταν κατέθεσε στο επιστημονικό περιοδικό *Annalen der Physik* ένα άρθρο χωρίς αναφορές σε προηγούμενη έρευνα, με τίτλο «*Περί της ηλεκτροδυναμικής των κινουμένων σωμάτων*». Επρόκειτο για μια επαναστατική θεωρία, η οποία θα μετέβαλλε ριζικά την αντίληψή μας για τον χώρο, τον χρόνο, την μάζα και την ενέργεια, γνωστή έκτοτε ως η **Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας**, η παρουσίαση της οποίας όμως υπερβαίνει τους ειδικότερους στόχους του παρόντος Οδηγού. Μπορούμε ωστόσο να πούμε ότι σύμφωνα μ' αυτήν την θεωρία η ταχύτητα του φωτός είναι μια θεμελιώδης φυσική σταθερά, *ανεξάρτητη από την κίνηση της πηγής ή του παρατηρητή* και είναι το ανώτερο όριο ταχύτη-



Ο Αϊνστάιν στο Αστεροσκοπείο Wilson το 1931.



τας, με το οποίο μπορεί να μεταδοθεί μια πληροφορία στο Σύμπαν, μια ταχύτητα η οποία είναι απαγορευτική για οποιοδήποτε υλικό σώμα φέρει μάζα. Η άμεση και εκπληκτική συνέπεια της Ειδικής Θεωρίας της Σχετικότητας είναι ότι διαφορετικοί παρατηρητές, που κινούνται με σταθερή ταχύτητα ο ένας ως προς τον άλλον, βλέπουν το ίδιο φαινόμενο με διαφορετικό τρόπο, καθώς ο χρόνος και το μήκος, που στα πλαίσια της κλασικής Νευτώνειας φυσικής ήταν αμετάβλητα και αναλλοίωτα φυσικά μεγέθη, καθίστανται πλέον απολύτως σχετικά: δύο γεγονότα που είναι ταυτόχρονα ως προς έναν παρατηρητή δεν είναι ταυτόχρονα ως προς έναν άλλο, ο ρυθμός με τον οποίο «ρέει» ο χρόνος είναι διαφορετικός για δύο παρατηρητές που κινούνται ο ένας ως προς

τον άλλον κ.ο.κ.. Θα πρέπει εντούτοις να σημειωθεί ότι η Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας δεν καταργεί την κλασική Μηχανική του Νεύτωνα, η οποία παραμένει μια εξαιρετική περιγραφή της πραγματικότητας, με την προϋπόθεση όμως ότι σώματα και παρατηρητές κινούνται με χαμηλές ταχύτητες σε σχέση με την ταχύτητα του φωτός.

Το γεγονός ότι η ταχύτητα του φωτός έχει αυτήν την πολύ μεγάλη, αλλά παρόλα αυτά πεπερασμένη τιμή οδηγεί στο εντυπωσιακό συμπέρασμα ότι βλέπουμε τα διάφορα ουράνια σώματα όπως αυτά ήταν στο παρελθόν, όταν και εξέπεμψαν την ακτινοβολία που τα καθιστά ορατά! Για παράδειγμα, τα περισσότερα από τα άστρα του ουρανού που βλέπουμε με γυμνό μάτι απέχουν 10–100

έτη φωτός* μακριά από την Γη, γεγονός που σημαίνει ότι τα βλέπουμε όπως ήταν πριν από 10–100 χρόνια. Για τον ίδιο λόγο ο γαλαξίας της Ανδρομέδας, 2,5 εκατ. έτη φωτός μακριά μας, απεικονίζεται από τα τηλεσκόπιά μας όπως ήταν πριν 2,5 εκατ. χρόνια, αλλά και οι πιο απομακρυσμένοι γαλαξίες του Σύμπαντος όπως ήταν περισσότερο από 13 δισ. χρόνια πριν. Μπορούμε, με άλλα λόγια, να παρομοιάσουμε την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μια μηχανή του χρόνου που, όσο πιο μακριά στο Σύμπαν παρατηρούμε, τόσο πιο πίσω στον χρόνο μας ταξιδεύει.

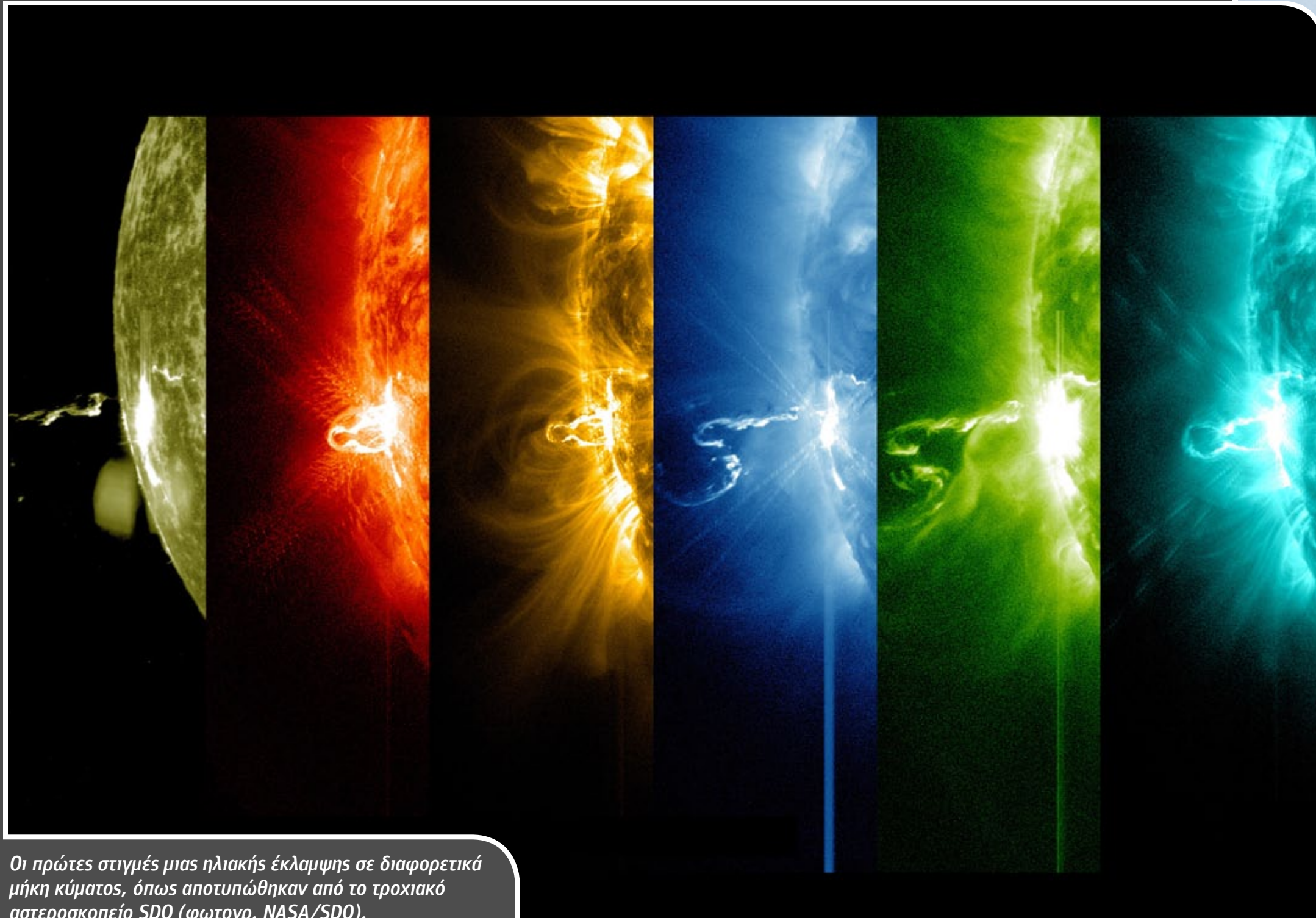
Επομένως, ποια είναι τελικά η φύση του φωτός: κυματική ή σωματιδιακή; Η σύγχρονη απάντηση είναι και τα δύο! Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχει διττή υπόσταση. Κάποια από τα φαινόμενα που σχετίζονται μ' αυτήν μπορούν να ερμηνευθούν μόνο με βάση την κυματική της υπόσταση (π.χ. περίθλαση), κάποια άλλα, όμως, όπως το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, μπορούν να ερμηνευθούν μόνο εάν υιοθετήσουμε την σωματιδιακή της υπόσταση, ενώ υπάρχουν και φαινόμενα που μπορούν να ερμηνευθούν και με τους δύο τρόπους. Αυτή, μάλιστα, η κυματοσωματιδιακή δυαδικότητα της φύσης του φωτός, σύμφωνα με την οποία άλλοτε το φως συμπεριφέρεται ως κύμα και άλλοτε ως σωματίδια, βρέθηκε ότι ισχύει και για την ύλη, με την διαφορά ότι η κυματική υπόσταση της ύλης γίνεται εμφανής μόνο στον μικρόκοσμο των σωματιδίων. Η κυματο-

σωματιδιακή δυαδικότητα της φύσης του φωτός και της ύλης βρίσκεται στη καρδιά της κβαντικής φυσικής που, μαζί με την Γενική Θεωρία της Σχετικότητας του Αϊνστάιν (στην οποία θα αναφερθούμε εν συντομία αργότερα) αποτελούν τους δύο πυλώνες πάνω στους οποίους θεμελιώθηκε το λαμπρό οικοδόμημα της σύγχρονης φυσικής.

Συνοψίζοντας, λοιπόν, το ένα άκρο των συχνοτήτων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας καταλαμβάνουν τα **ραδιοκύματα** και τα **μικροκύματα**, δηλαδή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με τα μεγαλύτερα μήκη κύματος και τις μικρότερες συχνότητες και ενέργειες, στις οποίες συγκαταλέγονται και οι ραδιοτηλεοπτικές εκπομπές. Στη συνέχεια ακολουθεί η περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, που ανακάλυψε ο Herschel, δηλαδή το υπέρυθρο, και μετά το ορατό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, δηλαδή των συχνοτήτων που είναι αντιληπτές από την ανθρώπινη όραση. Ακολούθως, συναντάμε την υπεριώδη ακτινοβολία, το μεγαλύτερο μέρος της οποίας εμποδίζεται από την ατμόσφαιρα, όπως εξάλλου συμβαίνει και για τις ακτινοβολίες Χ και γ, δηλαδή τις ακτινοβολίες με τα μικρότερα μήκη κύματος και τις υψηλότερες ενέργειες. Όπως θα δούμε και στο επόμενο κεφάλαιο, οι αστρονόμοι κατασκεύασαν τηλεσκόπια που «βλέπουν» σ' ολόκληρο το εύρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, κάθε τμήμα του οποίου αντιστοιχεί και σε ένα διαφορετικό «παράθυρο» στο Σύμπαν ◀

*Ο γαλαξίας της Ανδρομέδας
(φωτογρ. GALEX, JPL-Caltech, NASA).*

* Το **έτος φωτός** είναι μία από τις μονάδες μέτρησης αστρονομικών αποστάσεων και ισούται με την απόσταση που διανύει το φως σε ένα έτος, δηλ. σχεδόν 10 τρισεκατομμύρια km.



Οι πρώτες στιγμές μιας ηλιακής έκλαμψης σε διαφορετικά μήκη κύματος, όπως αποτυπώθηκαν από το τροχιακό αστεροσκοπείο SDO (φωτογρ. NASA/SDO).

2. Παράθυρα στο Σύμπαν

Δυστυχώς για την παρατηρησιακή αστρονομία, αλλά ευτυχώς για την ανάπτυξη της ζωής στον πλανήτη μας, η γήινη ατμόσφαιρα παρεμποδίζει το μεγαλύτερο τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας να φτάσει στην επιφάνειά του, αφήνοντας ανοικτά ελάχιστα μόνο «παράθυρα» που επιτρέπουν τις παρατηρήσεις από το έδαφος. Το γνωστότερο «παράθυρο» αντιστοιχεί στο ορατό φάσμα των συχνοτήτων, εκείνων δηλαδή των συχνοτήτων που είναι αντιληπτές από την ανθρώπινη όραση. Γι' αυτό εξάλλου και ιστορικά, τα πρώτα τηλεσκόπια που αναπτύχθηκαν ήταν τα οπτικά τηλεσκόπια, τα οποία ανιχνεύουν την ορατή ακτινοβολία.



Όταν, λοιπόν, το 1609 ο **Γαλιλαίος** (1564–1642) έστρεψε για πρώτη φορά το τηλεσκόπιο του προς τον έναστρο ουρανό, ποτέ δεν θα μπορούσε να φανταστεί ότι θα έθετε τις βάσεις για μία επιστημονική επανάσταση που εντέλει θα άλλαζε ριζικά τα όσα γνωρίζαμε για το Σύμπαν και τους νόμους που διέπουν την λειτουργία του. Πραγματικά, η προαιώνια προσπάθεια του ανθρώπινου πνεύματος να κατανοήσει τον κόσμο και τα φυσικά φαινόμενα είχε βρει στο τηλεσκόπιο του Γαλιλαίου ένα νέο όργανο, με τη βοήθεια του οποίου άρχισε να αποκαλύπτεται σε όλο της το μεγαλείο η θαυμαστή πολυπλοκότητα του Σύμπαντος. Η συνεισφορά των οπτικών τηλεσκοπίων στην εξερεύνηση του Διαστήματος είναι τεράστια, εντούτοις δεν παύουν ακόμη και σήμερα να αντιμετωπίζουν ένα σοβαρό πρόβλημα, καθώς οι υδρατμοί, οι αέριες αναταράξεις στη γήινη ατμόσφαιρα και η φωτορύπανση δυσχεραίνουν σημαντικά τις επίγειες αστρονομικές παρατηρήσεις. Γι' αυτό και οι αστρονόμοι κατασκευάζουν τα τηλεσκόπιά τους σε όλο και ψηλότερες βουνοκορφές, μακριά από τα φώτα των σύγχρονων μεγαλουπόλεων.

Παρόλο που πολλοί σπουδαίοι αστρονόμοι του παρελθόντος κατασκεύασαν διαφορετικά οπτικά τηλεσκόπια για την εξερεύνηση του έναστρου ουρανού, η απαρχή της σύγχρονης παρατηρησιακής αστρονομίας οριοθετείται από πολλούς στις πρωτοποριακές μελέτες που πραγματοποίησε ο Αμερικανός αστρονόμος **Edwin Hubble** (1889–1953) στη διάρκεια της δεκαετίας του '20, με την βοήθεια του τηλεσκοπίου Hooker

στο Αστεροσκοπείο Wilson της Καλιφόρνιας. Με τις παρατηρήσεις του αυτές ο Hubble επιβεβαίωσε την ύπαρξη και άλλων γαλαξιών εκτός του δικού μας, ενώ υπολογίζοντας και την ταχύτητα με την οποία αυτοί απομακρύνονται, επιβεβαίωσε πανηγυρικά την διαστολή του Σύμπαντος. Με αυτόν τον τρόπο, δεν διεύρυνε μόνο τα όρια του γνωστού ως τότε Σύμπαντος, αλλά συνέβαλε και στην καθιέρωση της θεωρίας της **Μεγάλης Έκρηξης** ως της κυρίαρχης θεωρίας που περιγράφει την εξέλιξή του.

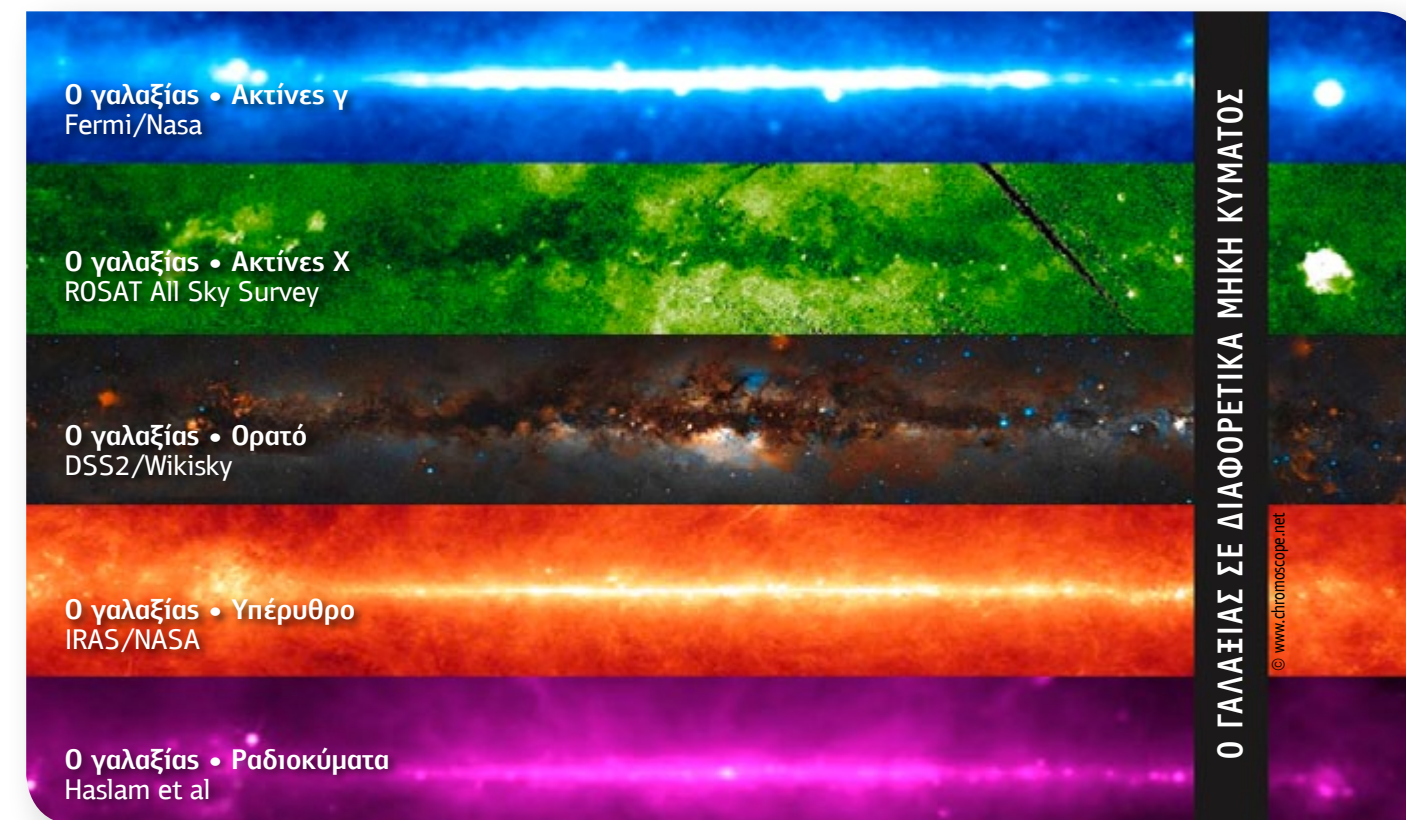
Με το τέλος του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου η εξέλιξη της παρατηρησιακής αστρονομίας είναι εκρηκτική. Εμφανίζονται τα πρώτα τηλεσκό-



Ο Αμερικανός αστρονόμος Edwin Hubble.

πια που «βλέπουν» και σε μήκη κύματος διαφορετικά από τα οπτικά, καλύπτοντας μέσα σε λίγα χρόνια όλο το εύρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, ιδιαίτερα μάλιστα με την μεταφορά των πρώτων τηλεσκοπίων στο Διάστημα, στην διάρκεια των δεκαετιών του '60–'70. Παρακάμπτοντας μ' αυτόν τον τρόπο τις παρεμβολές της γήινης ατμόσφαιρας, κατορθώσαμε να δούμε πιο μακριά στο Σύμπαν και πιο πίσω στον χρόνο από ποτέ.

Από τις ακτίνες γ, την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με την υψηλότερη ενέργεια, έως τις ακτίνες Χ, και από την υπεριώδη, την ορατή και την υπέρυθη ακτινοβολία, έως τα μικροκύματα και τα ραδιοκύματα, κάθε τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος αντιστοιχεί και σε ένα νέο «παράθυρο» στο Σύμπαν. Τα ραδιοκύματα και τα μικροκύματα μας αποκάλυψαν το υπέρθερμο παρελθόν του Σύμπαντος. Χάρη στην υπέρυθη ακτινοβολία διεισδώσαμε στα νέφη αερίων και



Η μελέτη του ίδιου ουράνιου σώματος σε διαφορετικά μήκη κύματος διευρύνει τις γνώσεις μας γι' αυτό πολύ περισσότερο απ' όσο η μελέτη του σ' ένα μόνο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος [φωτογρ. ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)].

σκόνης, εκεί που γεννιούνται νέα άστρα. Με τα οπτικά μας τηλεσκόπια απεικονίσαμε τους πλανήτες του Ηλιακού Συστήματος και μελετήσαμε γειτονικά μας νεφελώματα και μακρινούς γαλαξίες. Χρησιμοποιήσαμε την υπεριώδη ακτινοβολία για να μελετήσουμε τα υπέρθερμα νεαρά άστρα του Γαλαξία μας και την μεσοαστρική ύλη, ενώ με τα διαστημικά τηλεσκόπια ακτίνων Χ και γ μελετήσαμε ορισμένα από τα πιο παράξενα και βίαια φαινόμενα του Σύμπαντος, όπως είναι οι γαλαξιακές μαύρες τρύπες και οι εκλάμπεις ακτίνων γ. Όλα αυτά τα τηλεσκόπια, επίγεια και διαστημικά, συνεχίζουν να χαρτογραφούν με όλο και μεγαλύτερη λεπτομέρεια το αχανές Σύμπαν και να συλλέγουν όλο και περισσότερα δεδομένα για τα αναρίθμητα και παράξενα ουράνια σώματα που εμπεριέχει, αποκαλύπτοντας έτσι το αόρατο Σύμπαν σε όλη του την ομορφιά και βιαιότητα. Η πρόοδος λοιπόν που έχει σημειωθεί είναι τεράστια, ενώ η νέα γενιά των μεγάλων επίγειων τηλεσκοπίων και τροχιακών αστροσκοπείων θα συμβάλει σημαντικά στις προσπάθειες των αστρονόμων να απαντήσουν στα αναπάντητα ακόμη ερωτήματα που αντιμετωπίζει η σύγχρονη αστρονομία.

Από την πρώτη ανίχνευση ραδιοκυμάτων στις αρχές της δεκαετίας του '30 μέχρι την κατασκευή των σύγχρονων γιγάντιων ραδιοτηλεσκοπίων, ο κλάδος της ραδιοαστρονομίας ήταν ο πρώτος που μας έδωσε την ευκαιρία να δούμε το Σύμπαν και σε μήκη κύματος διαφορετικά από το ορατό φως. Σημαντικό πλεονέκτημα της ανίχνευσης των ραδιοκυμάτων, έναντι εκείνης

του ορατού φωτός, είναι η μικρή τους απορροφητικότητα από τη μεσοαστρική σκόνη, καθώς και η δυνατότητα τόσο νυχτερινών όσο και ημερήσιων παρατηρήσεων. Επειδή όμως το μήκος των ραδιοκυμάτων είναι κατά πολύ μεγαλύτερο από εκείνο των οπτικών, η διάμετρος των ραδιοτηλεσκοπίων πρέπει κατά κανόνα να είναι πολύ μεγαλύτερη, προκειμένου να πετύχουμε διακριτική ικανότητα συγκρίσιμη με αυτή των οπτικών τηλεσκοπίων.

Το πρόβλημα αυτό ξεπεράστηκε με την ανάπτυξη της **συμβολομετρίας**. Σύμφωνα μ' αυτήν, αντί να χρησιμοποιείται ένα μόνο μεγάλο ραδιοτηλεσκόπιο χρησιμοποιούνται δύο ή περισσότερα πιο μικρά, τα οποία ανιχνεύουν τα ραδιοκύματα από κάποια αστρονομική πηγή και στη συνέχεια, χάρη στο *φαινόμενο της συμβολής*, το σήμα που κατέγραψαν ενισχύεται. Το αποτέλεσμα είναι σαν να είχαμε ένα μόνο ραδιοτηλεσκόπιο με διάμετρο την μέγιστη απόσταση μεταξύ των μικρότερων. Σήμερα, το μεγαλύτερο αυτόνομο ραδιοτηλεσκόπιο στον κόσμο με διάμετρο 305 m βρίσκεται στο Αρεσίμπο του Πουέρτο Ρίκο, ενώ έχουν κατασκευαστεί και πολλές συστοιχίες ραδιοτηλεσκοπίων, όπως είναι η **Πολύ Μεγάλη Διάταξη** (Very Large Array), που βρίσκεται στο Νέο Μεξικό των ΗΠΑ και αποτελείται από 27 κινητές κεραιές διαμέτρου 25 m. Τοποθετημένες πάνω σε ράγες σχήματος Υ μήκους 21, 21 και 19 km, οι 27 κινητές κεραιές της συστοιχίας έχουν τη δυνατότητα να σχηματίσουν με τη βοήθεια της συμβολομετρίας, ένα γιγάντιο ραδιοτηλεσκόπιο με διάμετρο 36 km.

Άποψη της συστοιχίας ραδιοτηλεσκοπίων ALMA [ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/B. Tafreshi (twanight.org)].



Το επόμενο ορόσημο στην εξέλιξη των τηλεσκοπίων τοποθετείται, όπως είπαμε, στη διάρκεια της δεκαετίας του '70, όταν άρχισαν να τίθενται σε τροχιά τα πρώτα διαστημικά τηλεσκόπια που, παρακάμπτοντας τη γήινη ατμόσφαιρα, μπορούσαν να ανιχνεύουν και τις ακτινοβολίες των υψηλότερων ενεργειών, όπως τις υπεριώδεις, τις ακτίνες Χ και τις ακτίνες γ. Αναμφίβολα, το γνωστότερο από τα τροχιακά μας αστεροσκοπεία είναι το διαστημικό τηλεσκόπιο **Hubble**, που τέθηκε σε τροχιά τον Απρίλιο του 1990 και έχει τη δυνατότητα να «βλέπει» στα ορατά μήκη κύματος, αλλά και σε τμήμα του υπεριώδους και του υπέρυθρου φάσματος. Χάρη στην πέμπτη και τελευταία αναβάθμισή του, που πραγματοποιήθηκε τον Μάιο του 2009, οι επιστήμονες ευελπιστούν ότι θα κατορθώσουν να παρατείνουν τη λειτουργία του τουλάχιστον μέχρι το 2018, όταν αναμένεται να τεθεί σε τροχιά το νέο διαστημικό τηλεσκόπιο **James Webb**, το οποίο όμως θα «βλέπει» μόνο στο υπέρυθρο.

Η καταγραφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε υπέρυθρα μήκη κύματος είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τη μελέτη αντικειμένων, τα οποία είναι τόσο ψυχρά και δυσδιάκριτα, ώστε η ανίχνευσή τους με οπτικά τηλεσκόπια να είναι πρακτικά ανέφικτη. Χαρακτηριστικά παραδείγματα ψυχρών αντικειμένων αποτελούν οι κομήτες, οι αστεροειδείς και οι πλανήτες, οι καφέ νάνοι, οι πρωτοπλανητικοί δίσκοι κ.ο.κ.. Επί πλέον, σε αντίθεση με το ορατό φως, τα νέφη της μεσοαστρικής σκόνης είναι διαφανή στα υπέρυθρα μήκη κύματος, γεγονός που επιτρέπει, για πα-

ράδειγμα, την παρατήρηση νεαρών άστρων μέσα σε γιγάντια μοριακά νέφη ή και σ' αυτούς ακόμα τους γαλαξιακούς πυρήνες. Δύο από τα σπουδαιότερα υπέρυθρα διαστημικά τηλεσκόπια ήταν το Ευρωπαϊκό **Herschel**, η λειτουργία του οποίου ολοκληρώθηκε το 2013, καθώς και το **Spitzer** της NASA.

Ανάμεσα στα ραδιοκύματα και στο υπέρυθρο υπάρχει ένα ακόμη ηλεκτρομαγνητικό παράθυρο στο Σύμπαν, που αντιστοιχεί στα μικροκύματα. Η ανίχνευση της **κοσμικής ακτινοβολίας υποβάθρου** από τον δορυφόρο **COBE**, συγκαταλέγεται ανάμεσα στα κορυφαία επιστημονικά επιτεύγματα του 20^{ού} αιώνα, που αναγνωρίστηκε με την απονομή του Νόμπελ Φυσικής 2006 στους επικεφαλής ερευνητές **John Mather** και **George Smoot**. Τα αποτελέσματα του COBE βελτίωσε με εντυπωσιακό τρόπο ο δορυφόρος **WMAP** της NASA, που εκτοξεύτηκε στις 30 Ιουνίου 2001. Βασικός στόχος του WMAP ήταν να καταμετρήσει με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια τις θεμελιώδεις παραμέτρους του Σύμπαντος, προκειμένου να επαληθεύσει τις βασικές αρχές του Καθιερωμένου Προτύπου της Κοσμολογίας, της ευρύτερης δηλαδή θεωρίας που περιγράφει τη δομή και την εξέλιξή του. Οι ανακαλύψεις αυτές, οι οποίες προέκυψαν από την επιστημονική ανάλυση των δεδομένων που συνέλεξε το WMAP, όσο εντυπωσιακές και ακριβείς αποδείχθηκε ότι ήταν, μόλις πρόσφατα βελτιώθηκαν ακόμη περισσότερο, χάρη στην ανάλυση των δεδομένων που συνέλεξε το διαστημικό τηλεσκόπιο **Planck** του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος ESA.

Σύμφωνα μ' αυτήν, το Σύμπαν έχει ηλικία 13,8 δισ. έτη, ενώ η συνηθισμένη ύλη από την οποία αποτελούμαστε εμείς οι ίδιοι αλλά και τα αναρίθμητα άστρα του Σύμπαντος αντιστοιχεί μόλις στο 4,9% της συνολικής μάζας και ενέργειας που εμπεριέχει. Αντιθέτως, το 26,8% αντιστοιχεί στη σκοτεινή ύλη και το υπόλοιπο 68,3% στην σκοτεινή ενέργεια. Η **σκοτεινή ύλη** είναι μια αόρατη και άγνωστης μορφής ύλη, η παρουσία της οποίας γίνεται εμφανής μόνο με την βαρυτική της αλληλεπίδραση με την συνηθισμένη ύλη, ενώ εικάζεται ότι αποτελείται από τεράστιες ποσότητες παράξενων υποατομικών σωματιδίων. Η **σκοτεινή ενέργεια**, τέλος, είναι μια εξίσου άγνωστη μορφή ενέργειας, που προκαλεί την επιταχυνόμενη διαστολή του Σύμπαντος.

Ένα ακόμη «παράθυρο» στο Σύμπαν άνοιξε με την κατασκευή διαστημικών τηλεσκοπίων, που, έχουν την δυνατότητα να ανιχνεύουν την υπεριώδη ακτινοβολία. Η παρατήρηση σε αυτά τα μήκη κύματος χρησιμεύει μεταξύ άλλων για τη μελέτη γιγάντιων νέων άστρων, για τη συλλογή δεδομένων που αφορούν στη χημική σύνθεση και στη θερμοκρασία της μεσοαστρικής ύλης, καθώς επίσης και για τη μελέτη της εξέλιξης των γαλαξιών. Ανάμεσα στα τροχιακά αστεροσκοπεία που ανιχνεύουν τις υπεριώδεις ακτινοβολίες αξίζει να αναφερθούν τα **IUE** (1978–1996), **FUSE** (1999–2007) και **GALEX** (2003–2012). Τα τροχιακά αστεροσκοπεία ακτίνων Χ, από την άλλη, χρησιμοποιούνται στη μελέτη ουράνιων σωμάτων, όπως είναι οι εκρήξεις σουπερνόβα, τα πάλσαρ, οι μαύρες

τρύπες και οι ενεργοί γαλαξιακοί πυρήνες. Αν και οι πρώτοι δορυφόροι ακτίνων Χ είχαν τεθεί σε τροχιά ήδη από τη δεκαετία του '70, τα νέας γενιάς τροχιακά αστεροσκοπεία, όπως το γερμανικό **ROSAT** (1990–1999), το ευρωπαϊκό **XMM-Newton** (1999–) και τα αμερικανικά **RXTE** (1995–2012) και **Chandra** (1999–) διευρύνουν συνεχώς τις γνώσεις μας για τα βίαια κοσμικά φαινόμενα που μελετούν.

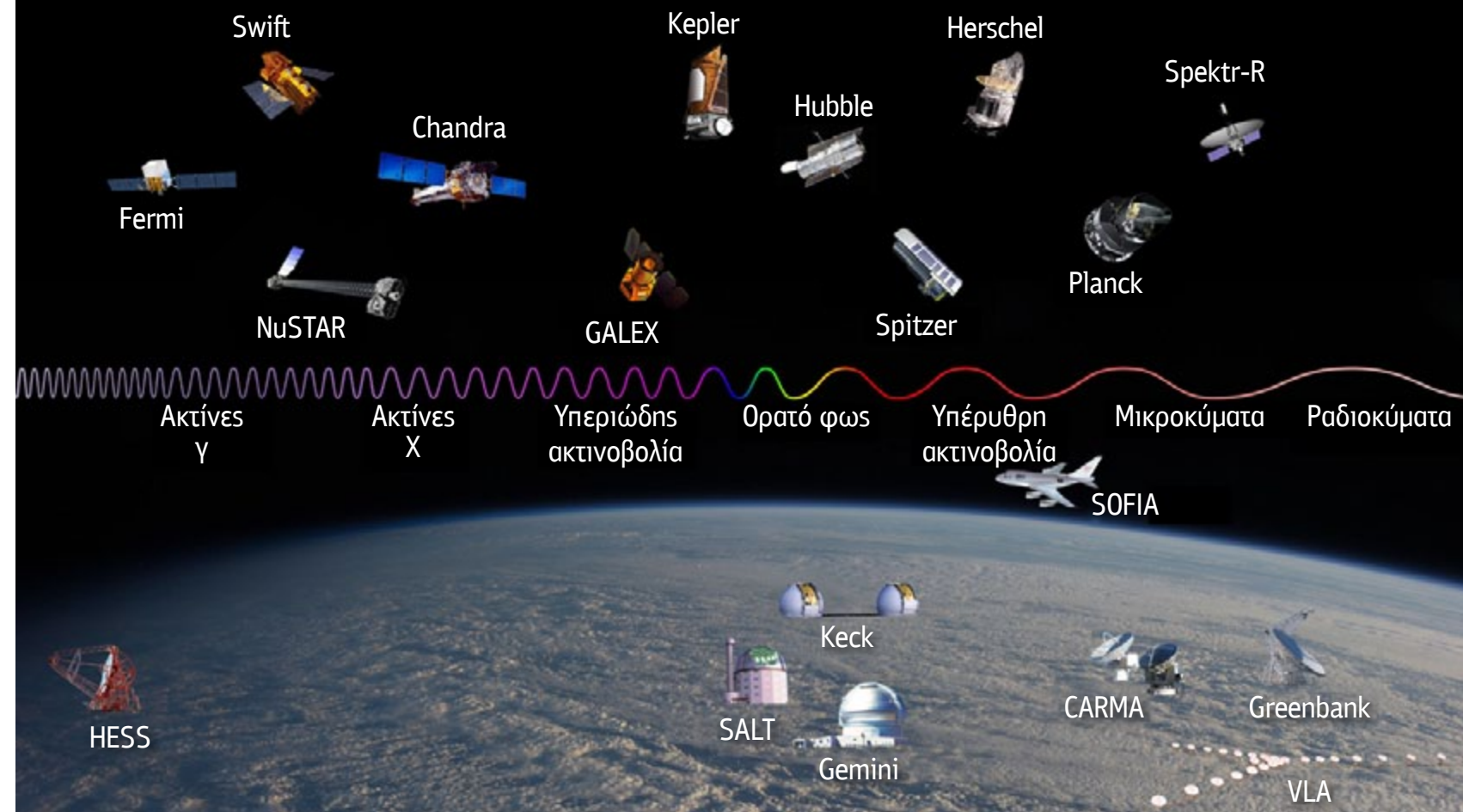
Οι ακτίνες γ, τέλος, δηλαδή η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με την υψηλότερη ενέργεια, αποτελούν το τελευταίο παράθυρο του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος προς το Σύμπαν και εκπέμπονται στη διάρκεια ορισμένων από τα βιαιότερα φαινόμενα που μπορούμε να παρατηρήσουμε, όπως είναι οι εκλάμψεις ακτίνων γ. Οι εκλάμψεις αυτές εικάζεται ότι προέρχονται από την απευθείας κατάρρευση ενός άστρου σε μαύρη τρύπα ή από τη συγχώνευση δύο άστρων νετρονίων. Η εξερεύνηση του Σύμπαντος με την βοήθεια των ακτίνων γ άρχισε μόλις στα μέσα της δεκαετίας του '60, όταν δηλαδή ανιχνεύθηκαν για πρώτη φορά ακτίνες γ προερχόμενες από το Διάστημα χάρη στους δορυφόρους **Vela**. Οι δορυφόροι αυτοί είχαν κατασκευαστεί, προκειμένου να επιτηρούν για τυχόν παραβιάσεις της διεθνούς συμφωνίας που απαγόρευε τις πυρηνικές δοκιμές. Σημαντικά τροχιακά αστεροσκοπεία ακτίνων γ υπήρξαν μεταξύ άλλων και τα **HEAO-3** (1979–1981) και **Compton** (1991–2000), ενώ από τη νέα γενιά τηλεσκοπίων ξεχωρίζουν τα **INTEGRAL** (2002–) και **Fermi**, το οποίο εκτοξεύτηκε στις 11 Ιουνίου 2008.

Όπως προαναφέραμε, δεδομένου ότι η ταχύτητα του φωτός είναι πεπερασμένη, οι επιστήμονες που παρατηρούν τα πιο απομακρυσμένα αντικείμενα, στην πραγματικότητα παρατηρούν το παρελθόν τους. Επομένως, τίθεται το ερώτημα: πόσο μακριά στον Σύμπαν και πόσο πίσω στον χρόνο μπορούμε να δούμε με τα τηλεσκόπια μας; Κατασκευάζοντας, δηλαδή, το καλύτερο τηλεσκόπιο που είναι δυνατόν να κατασκευαστεί, θα μπορούσαμε να «δούμε» την αρχή του Σύμπαντος; Δυστυχώς, η απάντηση είναι αρνητική, αφού, όπως θα εξηγήσουμε στην συνέχεια, οι νόμοι που διέπουν την λειτουργία του Σύμπαντος θέτουν ένα απαράβατο όριο στο πόσο πίσω στον χρόνο μπορούμε να δούμε με την βοήθεια της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Το αρχέγονο Σύμπαν, σχεδόν αμέσως μετά την γένεσή του πριν από 13,8 δισ. χρόνια, ήταν γεμάτο από υπέρθερμο πλάσμα σωματιδίων ύλης και σωματιδίων φωτός (δηλ. φωτονίων), ενώ έκτοτε διαστέλλεται και ψύχεται συνεχώς. Στα πρώτα, όμως, στάδια της εξέλιξής του εξακολουθούσε να είναι τόσο θερμό, ώστε η ύλη του ήταν πλήρως ιονισμένη και αποτελούνταν από ελεύθερα ηλεκτρόνια και πρωτόνια. Καθώς, όμως, τα φωτόνια συγκρούονταν συνεχώς με τα ηλεκτρόνια, μετέβαλλαν την αρχική τους κατεύθυνση και δεν μπορούσαν να διαφύγουν ελεύθερα στο Διάστημα, μεταφέροντας πληροφορίες από προγενέστερες εποχές. Με άλλα λόγια, το Σύμπαν ήταν μέχρι τότε αδιαφανές στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Όταν, όμως, η ηλικία του έφτασε τα 380.000 χρόνια και η θερμοκρασία του μειώθηκε στους σχεδόν 3.000 °C,

τα πρωτόνια ενώθηκαν με τα ηλεκτρόνια, σχηματίζοντας ουδέτερο υδρογόνο, γεγονός που επέτρεψε την «αποδέσμευση» του φωτός από την ύλη. Όταν εντέλει αυτή η **Εποχή της Επανάσυνδεσης**, όπως ονομάζεται, ολοκληρώθηκε, η απουσία ελεύθερων ηλεκτρονίων κατέστησε το Σύμπαν διαφανές στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, η οποία μπορούσε πλέον να διασχίζει το Διάστημα ανεμπόδιστα.

Αυτή ακριβώς η ακτινοβολία, που απελευθερώθηκε μόλις 380.000 χρόνια μετά τη Μεγάλη Έκρηξη, ανιχνεύεται σήμερα με την μορφή της κοσμικής ακτινοβολίας υποβάθρου και αποτελεί το πλέον αρχέγονο φως που μπορούν να συλλέξουν τα τηλεσκόπια μας. Για να το πούμε διαφορετικά, η εποχή κατά την οποία απελευθερώθηκε η κοσμική ακτινοβολία υποβάθρου είναι η πλέον αρχέγονη εποχή της εξέλιξης του Σύμπαντος, που μπορούμε να μελετήσουμε με την βοήθεια της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Πρέπει να τονιστεί σ' αυτό το σημείο ότι ο περιορισμός αυτός δεν αφορά στην τεχνολογική αρτιότητα των τηλεσκοπίων μας, αλλά εξαρτάται από την φύση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και τις συνθήκες που επικρατούσαν στο νεαρό Σύμπαν, που δεν της επέτρεπαν να διασχίζει μεγάλες αποστάσεις. Θα πρέπει δηλαδή να αποδεχθούμε ότι ο Αγγελιοφόρος του Σύμπαντος αδυνατεί να μας μεταφέρει μηνύματα από ακόμη πιο αρχέγονες εποχές. Όπως, όμως, θα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο, τη δυνατότητα αυτή, σε θεωρητικό επίπεδο τουλάχιστον, παρέχουν τα νετρίνα και τα βαρυτικά κύματα ◀

Σημαντικά επίγεια και διαστημικά τηλεσκόπια σε ολόκληρο το εύρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (φωτογρ. NASA, ESA Specktr-R, HESS, SALT, Rick Peterson/WMKO, Gemini Observatory/AURA, CARMA, NRAO/AUI).



3. Τα Μεγάλα Αστεροσκοπεία του ESO στην Χιλή

Όταν, στις 5 Οκτωβρίου 1962, το Βέλγιο, η Γαλλία, η Γερμανία, η Ολλανδία και η Σουηδία, τα 5 ιδρυτικά μέλη του **Ευρωπαϊκού Νότιου Αστεροσκοπείου** (European Southern Observatory, ESO) υπέγραψαν τη σχετική σύμβαση της ίδρυσής του, ποτέ δεν θα μπορούσαν να φανταστούν ότι το ESO θα εξελισσόταν στον κορυφαίο διακρατικό οργανισμό επίγειας αστρονομικής έρευνας του κόσμου. Πρωτόπορο στον σχεδιασμό, στην κατασκευή και στη διαχείριση των ισχυρότερων επίγειων αστεροσκοπείων του πλανήτη, το ESO διαθέτει σήμερα τρία μοναδικά και παγκόσμια κλάσης παρατηρησιακά κέντρα στην έρημο Atacama στη Χιλή. Χάρη στο μεγάλο υψόμετρο και το ιδιαίτερα ξηρό κλίμα που διασφαλίζουν ιδεώδεις συνθήκες για την αστρονομική παρατήρηση, τα αστεροσκοπεία αυτά δίνουν την ευκαιρία στους αστρονόμους να έχουν πρόσβαση ίσως στον πλέον καθάριο ουρανό του Νότιου Ημισφαιρίου.

Τέσσερις από τις κεραιές της συστοιχίας ALMA, που εγκαταστάθηκαν στο οροπέδιο Chajnantor της Χιλής (φωτογρ. ESO/José Francisco Salgado (josefrancisco.org)).



Το πρώτο απ' τα μεγάλα αστεροσκοπεία του ESO βρίσκεται στο όρος **La Silla**, όπου λειτουργούν αρκετά μεσαίου μεγέθους, αλλά τελευταίας τεχνολογίας, τηλεσκόπια. Στο **Paranal**, από την άλλη, στις καλύτερες ίσως επίγειες αστρονομικές εγκαταστάσεις του κόσμου όσον αφορά στο ορατό και στα υπέρυθρα μήκη κύματος, βρίσκεται εγκατεστημένο το Πολύ Μεγάλο Τηλεσκόπιο **VLT** (από τα αρχικά της αγγλικής του ονομασίας, Very Large Telescope), το οποίο αποτελείται από 4 τηλεσκοπικές μονάδες, εξοπλισμένες με κάτοπτρα διαμέτρου 8,2 m το καθένα. Τα τηλεσκόπια αυτά συνεπικουρούνται από 4 μικρότερα και όλα μαζί μπορούν να λειτουργήσουν ως ένα γιγάντιο συμβολόμετρο με ισοδύναμη διάμετρο κατόπτρου που φτάνει τα 200 m. Οι εικόνες που λαμβάνει το VLT βελτιώνονται ακόμη περισσότερο με την ακόλουθη τεχνική. Με την βοήθεια ενός λέιζερ, οι αστρονόμοι σχηματίζουν στον ουράνιο θόλο ένα «τεχνητό» άστρο. Ειδικοί υπολογιστές, στην συνέχεια, υπολογίζουν τις παραμορφώσεις που προκαλεί η ατμόσφαιρα στο είδωλο του «άστρου» αυτού, οι οποίες κατόπιν διορθώνονται με την βοήθεια ειδικών συστημάτων «προσαρμοστικής οπτικής». Διορθώνοντας κατ' αυτόν τον τρόπο τις

στρεβλώσεις που προκαλεί η ατμόσφαιρα στις αστρονομικές απεικονίσεις, το VLT λαμβάνει εικόνες, οι οποίες συναγωνίζονται επάξια ακόμη και εκείνες των διαστημικών μας τηλεσκοπίων. Χάρη στο VLT οι αστρονόμοι ανακάλυψαν ορισμένους από τους πιο απομακρυσμένους γαλαξίες του Σύμπαντος, ενώ αποτύπωσαν και την πρώτη απευθείας εικόνα ενός πλανήτη εκτός του Ηλιακού μας Συστήματος. Εξοπλισμένα με την αιχμή της τεχνολογίας, τα τηλεσκόπια αυτά συμβάλλουν στη διερεύνηση ορισμένων από τα πλέον θεμελιώδη ερωτήματα που απασχολούν τη σύγχρονη αστρονομία.

Το τρίτο μεγάλο αστεροσκοπείο του ESO, που και αυτό βρίσκεται στην έρημο Atacama των Χιλιανών Άνδεων, είναι το νέο σύμπλεγμα τηλεσκοπίων **ALMA** (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array), στην κατασκευή και λειτουργία του οποίου συμμετέχουν η Ευρώπη, η Ιαπωνία, η Βόρεια Αμερική και η Χιλή. Με την βοήθεια της νέας αυτής τηλεσκοπικής διάταξης, οι αστρονόμοι προσπαθούν να διαλευκάνουν τους φυσικούς μηχανισμούς που καθορίζουν τον σχηματισμό νέων πλανητικών

συστημάτων, αλλά και τα πρώτα στάδια εξέλιξης των πρώτων άστρων και γαλαξιών του Σύμπαντος. Η κύρια διάταξη του ALMA αποτελείται από 50 τηλεσκόπια, διαμέτρου 12 m και βάρους 100 τόνων το καθένα, που λειτουργούν όλα μαζί ως ένα γιγάντιο τηλεσκόπιο με εντυπωσιακή διακριτική ικανότητα. Τα τηλεσκόπια που απαρτίζουν το ALMA μπορούν να μετακινούνται, έτσι ώστε η μέγιστη απόσταση μεταξύ τους να μεταβάλλεται από τα 150 m στα 16 km, γεγονός που του προσδίδει πανίσχυρη μεταβλητή εστίαση. Χάρη στην τεχνική της συμβολομετρίας, η ευκρίνεια της εικόνας που λαμβάνει αυτό το σύστημα των ραδιοτηλεσκοπίων ισοδυναμεί με την ευκρίνεια ενός τηλεσκοπίου με διάμετρο κατόπτρου την απόσταση μεταξύ των δύο πιο απομακρυσμένων ραδιοτηλεσκοπίων της διάταξης. Η κύρια διάταξη του ALMA συνεπικουρείται από μια δεύτερη, η οποία αποτελείται από 4 δωδεκάμετρες και 12 επτάμετρες κεραιές, σε συμπαγή και σταθερό ως επί το πλείστον σχηματισμό, γνωστή ως Atacama Compact Array (ACA). Η διάταξη αυτή χρησιμοποιείται για την απεικόνιση

νισή πιο εκτεταμένων δομών και μπορεί να λειτουργεί είτε αυτόνομα είτε σε συνεργασία με την κύρια διάταξη του ALMA.

Το ALMA «βλέπει» σ' εκείνο το τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που βρίσκεται ανάμεσα στο υπέρυθρο και στα ραδιοκύματα, ανιχνεύοντας την ακτινοβολία που προέρχεται από παγωμένα νέφη αερίων και σκόνης, αλλά και από αρχέγονους γαλαξίες στα πέρατα του Σύμπαντος. Με τα δεδομένα που συλλέγει θα βοηθήσει τους αστρονόμους να διευρύνουν τις γνώσεις τους για μια σειρά από θέματα που ξεκινούν από την γένεση νέων πλανητικών συστημάτων και φτάνουν μέχρι την δημιουργία και τα πρώτα στάδια εξέλιξης των πρώτων άστρων και γαλαξιών του Σύμπαντος.

Η κατασκευή και λειτουργία του ALMA αποτέλεσε και συνεχίζει να αποτελεί τεράστια πρόκληση για τους εκατοντάδες αστρονόμους, μηχανικούς και τεχνικούς που συμμετέχουν στο φιλόδοξο αυτό ερευνητικό πρόγραμμα. Κατ' αρχάς, επειδή τα μήκη κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που ανιχνεύει το ALMA απορροφώνται από τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας, τα τηλεσκόπια που τις ανιχνεύουν πρέπει να

Το Αστεροσκοπείο La Silla στην Χιλή
[φωτογρ. ESO/José Francisco Salgado
(josefrancisco.org)].

Το ένα από τα δύο γιγάντια οχήματα μεταφοράς των τηλεσκοπίων του ALMA [φωτογρ. ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)].



κατασκευάζονται σε τοποθεσίες μεγάλου υψόμετρου και μεγάλης ξηρότητας. Αυτές οι συνθήκες ικανοποιούνται στο έπακρο με την επιλογή του υψιπέδου **Chajnantor** στην έρημο Atacama της Χιλής και 5.000 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Από την άλλη βέβαια, παρόλο που οι καιρικές συνθήκες είναι ιδεώδεις για τις αστρονομικές παρατηρήσεις, το μεγάλο υψόμετρο, οι μεγάλες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις από τη μέρα στη νύχτα, οι δυνατοί άνεμοι και κυρίως η μειωμένη περιεκτικότητα του αέρα σε οξυγόνο καθιστούν απαγορευτική την παραμονή των εργαζομένων για μεγάλο χρονικό διάστημα εκεί. Προκειμένου να αντιμετωπιστούν αυτά τα προβλήματα, διαμορφώθηκε μια Βάση Υποστήριξης 28 km μακριά και σε υψόμετρο «μόλις» 2.900 m, στην οποία συναρμολογήθηκαν τα τηλεσκόπια της συστοιχίας, προτού μεταφερθούν στο υψίπεδο Chajnantor, με την βοήθεια δύο ειδικών οχημάτων, βάρους 130 τόνων.

Οι αστρονόμοι, όμως, ήδη επεξεργάζονται νέα σχέδια, προκειμένου να «δουν» ακόμα πιο βαθιά στο αχανές Διάστημα και ακόμα πιο πίσω στον χρόνο. Στις 11 Ιουνίου 2012 το Συμβούλιο του ESO ενέκρινε την κατασκευή ενός ακόμα τηλεσκοπίου στην ευρύτερη περιοχή της ερήμου Atacama, ενός πραγματικά κολοσσιαίου τηλεσκοπίου, που, όπως έχει ειπωθεί, θα αποτελέσει το μεγαλύτερο «μάτι» της ανθρωπότητας στον ουρανό. Το Εξαιρετικά Μεγάλο Τηλεσκόπιο της Ευρώπης **E-ELT** (European Extremely Large Telescope), όπως ονομάζεται, θα «βλέπει» στο



Το E-ELT συγκρινόμενο με τα τηλεσκόπια VLT, αλλά και με το Κολοσσαίο (φωτογρ. ESO).

οπτικό και στο εγγύς υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και θα έχει διάμετρο κύριου κατόπτρου 39,3 m. Με την έναρξη της λειτουργίας του, το E-ELT αναμένεται να συμβάλει, όσο κανένα άλλο οπτικό τηλεσκόπιο, στη διερεύνηση των μεγάλων αστροφυσικών και κοσμολογικών ερωτημάτων, που εξακολουθούν να παραμένουν αναπάντητα. Το πρώτο βήμα για την κατασκευή του νέου αυτού τηλεσκοπίου πραγματοποιήθηκε στις 19 Ιουνίου 2014, με μία ελεγχόμενη έκρηξη στην κορυφή του όρους Armazones, που ήταν απαραίτητη για την διαμόρφωση της ευρύτερης έκτασης, στην οποία θα εγκατασταθεί. Οι πρώτες παρατηρήσεις, όμως, του E-ELT δεν αναμένονται νωρίτερα από το 2024.

Οι τεχνολογικές προκλήσεις που καλούνται να αντιμετωπίσουν οι επιστήμονες και οι μηχανικοί που συμμετέχουν στον σχεδιασμό και στην κατασκευή του E-ELT είναι τεράστιες αφού, για παράδειγμα, η αυτοκινούμενη μηχανική βάση του τηλεσκοπίου θα έχει συνολικό βάρος 5.000 τόνων και ο γιγάντιος θόλος που θα το καλύπτει θα έχει στη βάση του διάμετρο 86 m και μέγιστο ύψος 74 m. Ο καινοτόμος σχεδιασμός του E-ELT, με τα ενσωματωμένα στο κύριο τηλεσκόπιο συστήματα προσαρμοστικής οπτικής, αύξησε τον αριθμό των κατόπτρων του νέου τηλεσκοπίου στα πέντε. Επειδή, μάλιστα, η υπάρχουσα τεχνολογία θέτει ένα ανώτατο όριο ως προς το μέ-

γεθος μονοκόμματων κατόπτρων, το κύριο κάτοπτρο του E-ELT θα συναρμολογηθεί από 798 πανομοιότυπα εξαγωνικά τμήματα με διάμετρο 1,45 m και πάχος 5 cm το καθένα. Ένα ακόμη πρόβλημα που καλούνται να αντιμετωπίσουν οι επιστήμονες του E-ELT αφορά στη στρέβλωση της ιδεατής καμπυλότητας του κύριου κατόπτρου, η οποία θα προκαλείται από τις ριπές του ανέμου, τις εναλλαγές της θερμοκρασίας από την ημέρα στη νύχτα, αλλά και από το ίδιο το βάρος του. Γι' αυτό και καθένα από τα 798 εξαγωνικά τμήματα θα στηρίζεται σε 3 ειδικούς αυτοματοποιημένους μηχανισμούς εξοπλισμένους με έμβολα, οι οποίοι θα «διορθώνουν» την κλίση των επί μέρους τμημάτων μία φορά το λεπτό. Μ' αυτόν τον τρόπο η συνολική επιφάνεια του κατόπτρου θα έχει πάντα τη βέλτιστη καμπυλότητα.

Το δευτερεύον κάτοπτρο του τηλεσκοπίου θα έχει διάμετρο 4 m, ενώ ένα ακόμη κάτοπτρο θα «μεταδίδει» το φως που συλλέγεται στο σύστημα προσαρμοστικής οπτικής του τηλεσκοπίου. Η τεχνική αυτή επινοήθηκε, προκειμένου να αντιμετωπιστεί το βασικότερο μειονέκτημα των επίγειων τηλεσκοπίων, δηλαδή η «θόλωση» που προκαλούν οι ατμοσφαιρικές αναταράξεις στις εικόνες των αστρονομικών αντικειμένων, τις οποίες προσπαθούν να αποτυπώσουν. Σύμφωνα με την τεχνολογία αυτή, χιλιάδες «ενεργοποιητές» ρυθμίζουν και μεταβάλλουν πολλές φορές το δευτερόλεπτο το σχήμα ενός ειδικού «εύκαμπτου» κατόπτρου, διορθώνοντας έτσι σε πραγματικό χρόνο τις τυχαίες παραμορφώσεις

Τρισδιάστατη απεικόνιση από το εσωτερικό του E-ELT, βασισμένη σε μελέτη του 2009 (φωτογρ. Swinburne Astronomy Productions/ESO).



που προκαλεί η γήινη ατμόσφαιρα στην προσπίπτουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Το σύστημα προσαρμοστικής οπτικής που θα χρησιμοποιηθεί στο τηλεσκόπιο E-ELT θα αποτελείται από δύο ακόμη κάτοπτρα. Η επιφάνεια του πρώτου από αυτά θα μπορεί να παραμορφώνεται χάρη στα τουλάχιστον 6.000 ειδικά έμβολα που θα του επιτρέπουν να μεταβάλλει το ίδιο του το σχήμα εκατοντάδες φορές το δευτερόλεπτο. Τέλος, ένα ακόμη κάτοπτρο θα παρέχει τις τελικές διορθώσεις των αστρονομικών ειδώλων, προτού αυτά δοθούν στην επιστημονική κοινότητα για μελέτη και επεξεργασία.

Το πεδίο ερευνών του νέου τηλεσκοπίου θα είναι ευρύτατο. Κατ' αρχάς, θα συμβάλει στην αστρονομική έρευνα για τον εντοπισμό εξωπλανητών με συνθήκες κατάλληλες για την εμφάνιση μορφών ζωής. Όπως και αρκετά από τα τηλεσκόπια που ήδη χρησιμοποιούνται σ' αυτού του είδους την έρευνα, το E-ELT θα ανιχνεύει με έμμεσο τρόπο την ύπαρξη ενός εξωηλιακού πλανήτη, καταγράφοντας την ανεπαίσθητη βαρυτική ταλάντωση που προκαλεί η παρουσία του στο άστρο, γύρω από το οποίο κινείται. Πολύ περισσότερο όμως, θα έχει τη δυνατότητα να απεικονίσει άμεσα τους μεγαλύτερους και πλησιέστερους προς εμάς εξωπλανήτες και πιθανώς, όπως υποστηρίζουν οι σχεδιαστές του, να προσδιορίσει ακόμη και την χημική σύνθεση της ατμόσφαιρας που τους περιβάλλει. Εκτός αυτού, θα βοηθήσει τους αστρονόμους να διερευνήσουν τα πρώτα στάδια του σχηματισμού

εξωηλιακών πλανητικών συστημάτων εν γένει και να ανιχνεύσουν μόρια νερού και άλλων οργανικών ενώσεων στους πρωτοπλανητικούς δίσκους νεογέννητων άστρων.

Επιπλέον, η διεισδυτική ματιά του E-ELT θα μας «ταξιδέψει» τόσο πολύ πίσω στον χρόνο, ώστε θα μας επιτρέψει να μελετήσουμε τη γένεση των πρώτων συμπαγών αντικειμένων του Σύμπαντος, των αρχέγονων δηλαδή άστρων και γαλαξιών, από τους οποίους σχηματίστηκαν με το πέρασμα του χρόνου οι γιγάντιες κοσμικές δομές που παρατηρούμε σήμερα. Πρόκειται για μια εποχή, για την οποία ακόμη αγνοούμε πολλά. Το E-ELT όμως, «παρακολουθώντας» την

κοσμική εξέλιξη των πρώτων αυτών δομών, θα βοηθήσει τους αστρονόμους να διαλευκάνουν πώς αυτή η πρώτη «σπορά» εξελίχθηκε με την πάροδο του κοσμικού χρόνου, γεγονός που θα μας αποκαλύψει περισσότερα στοιχεία και για τις φυσικές διεργασίες που διαμόρφωσαν το ορατό Σύμπαν. Δύο ακόμη θεμελιώδη και αναπάντητα μέχρι σήμερα ερωτήματα, τα οποία θα προσπαθήσουν να απαντήσουν οι αστρονόμοι με τη βοήθεια των δεδομένων που θα συλλέγει το νέο τηλεσκόπιο, θα είναι και εκείνα που αφορούν στη φύση της σκοτεινής ύλης και της σκοτεινής ενέργειας.

Και επειδή όσο πιο μακριά παρατηρούμε στο

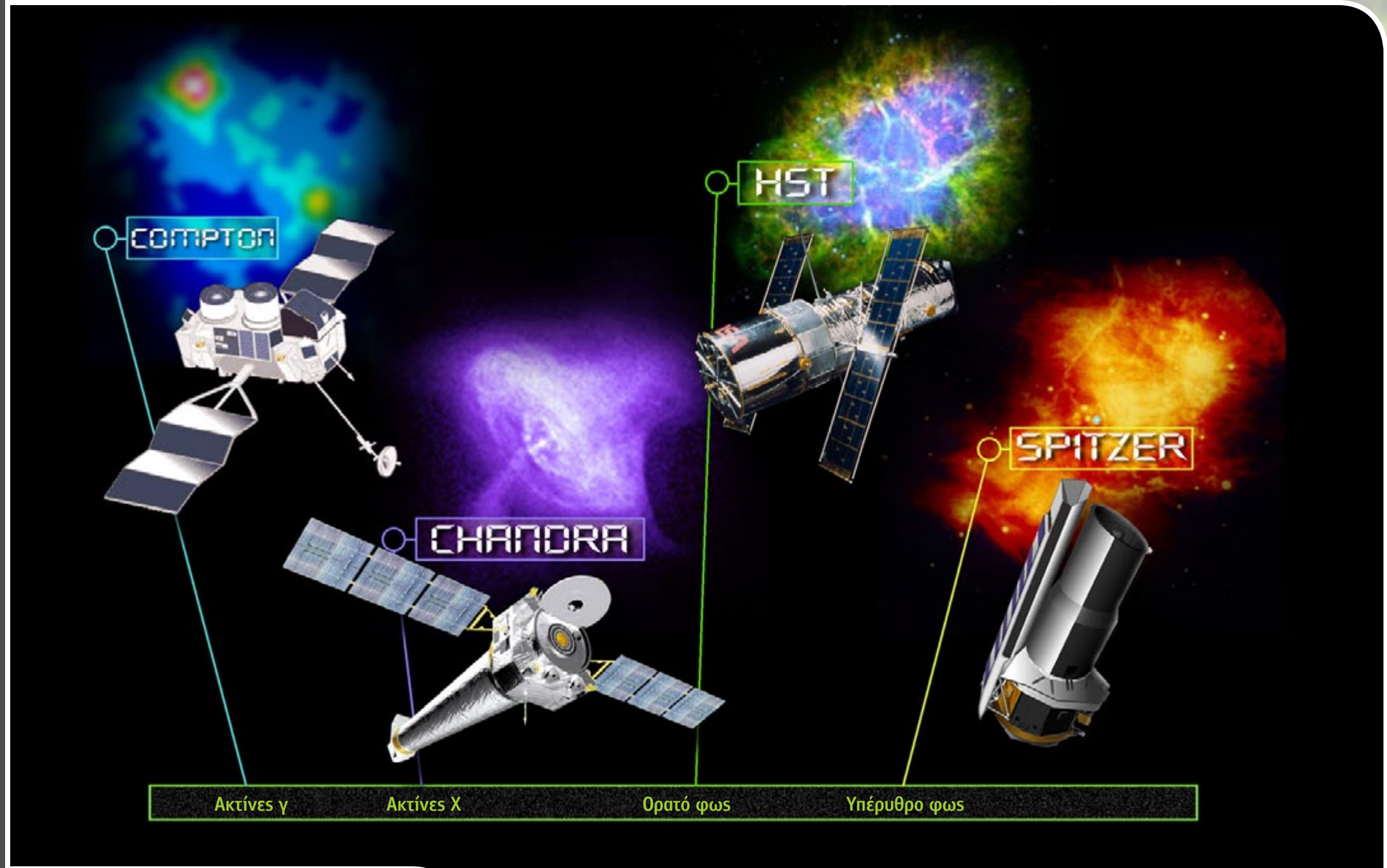
Σύμπαν, τόσο πιο πίσω στον χρόνο βλέπουμε, το E-ELT ενδέχεται να δει τόσο πίσω και τόσο μακριά που ίσως να βοηθήσει τους επιστήμονες να αποφανθούν εάν κάποιες από τις Παγκόσμιες Σταθερές της Φύσης είναι όντως σταθερές ή εάν έχουν μεταβληθεί με το πέρασμα του χρόνου. Η θεμελιώδης αρχή στην οποία στηρίζονται οι περισσότερες από τις φυσικές θεωρίες, που έχουν διατυπωθεί μέχρι σήμερα, βασίζεται στην παραδοχή ότι οι Νόμοι της Φύσης παραμένουν αμετάβλητοι παντού και πάντα στο Σύμπαν. Παρόλο που κάποιοι επιστήμονες έχουν ήδη αρχίσει να αναπτύσσουν θεωρητικά πρότυπα, σύμφωνα με τα οποία οι φυσικοί νόμοι όντως μεταβάλλονται

καθώς το Σύμπαν εξελίσσεται, το ερώτημα αυτό, που τέθηκε για πρώτη φορά το 1937 από τον Βρετανό θεωρητικό φυσικό και κάτοχο του Νόμπελ Φυσικής 1933 **Paul Dirac** (1902–1984), παραμένει μέχρι σήμερα αναπάντητο. Είναι αλήθεια βέβαια ότι η πλειονότητα των επιστημόνων θεωρεί απίθανο το ενδεχόμενο να μεταβάλλονται οι παγκόσμιες σταθερές. Μέσα, όμως, από τις προσπάθειές τους να βρουν την απάντηση στα μεγάλα και άλυτα ακόμα μυστήρια της Φύσης, αναδεικνύεται με τον καλύτερο τρόπο η πολυπλοκότητα και η ομορφιά της Αστρονομίας και της Κοσμολογίας, που δικαίως χαρακτηρίζονται ως οι πιο συναρπαστικές απ' όλες τις επιστήμες ◀

Καλλιτεχνική αναπαράσταση της εξέλιξης του Σύμπαντος, από την Μεγάλη Έκρηξη μέχρι σήμερα (φωτογρ. NASA/CXC/M. Weiss).

4. Τα Μεγάλα Τροχιακά Αστεροσκοπεία της NASA

Η ανίχνευση και η ανάλυση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπουν τα ουράνια σώματα είναι καθοριστική για την πρόοδο της αστρονομικής γνώσης. Για τον σκοπό αυτό η NASA υλοποίησε μεταξύ άλλων και το ερευνητικό πρόγραμμα των **Μεγάλων Τροχιακών Αστεροσκοπειών**. Πρόκειται για μια σειρά τεσσάρων διαστημικών τηλεσκοπίων, σχεδιασμένων να πραγματοποιούν μελέτες σε διαφορετικά μήκη κύματος και συγκεκριμένα στο ορατό, στο υπέρυθρο, στις ακτίνες X και στις ακτίνες γ. Το πρώτο και αναμφίβολα το γνωστότερο απ' αυτά είναι το διαστημικό τηλεσκόπιο **Hubble**, που συνέβαλε εντυπωσιακά στην διεύρυνση των αστρονομικών μας γνώσεων για την γένεση και τον θάνατο των άστρων, για την εξέλιξη των γαλαξιών και για τις ιδιότητες των μαύρων τρυπών.



Τα Μεγάλα Τροχιακά Αστεροσκοπεία της NASA και τα μήκη κύματος στα οποία «βλέπουν» (φωτογρ. NASA/CXC/M.Weiss).



Το αστροσκοπείο ακτίνων γ **Compton**, που εκτοξεύθηκε τον Απρίλιο του 1991, συνέλεξε δεδομένα για ορισμένα από τα πλέον ενεργητικά φαινόμενα που μπορούμε να παρατηρήσουμε στο Σύμπαν, ενώ το αστροσκοπείο ακτίνων Χ **Chandra** χρησιμοποιήθηκε από τους αστρονόμους για την διερεύνηση φαινομένων που σχετίζονται με τις μαύρες τρύπες, τα κβάζαρ, τις εκρήξεις σουπερνόβα, καθώς και την σκοτεινή ύλη και ενέργεια. Το τηλεσκόπιο **Spitzer**, τέλος, που εκτοξεύθηκε το 2003, ανιχνεύει την υπέρυθρη ακτινοβολία, την θερμότητα με άλλα λόγια που

εκλύουν τα ουράνια σώματα. Οι αστρονομικές ανακαλύψεις που πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια των τεσσάρων αυτών τηλεσκοπίων είναι πάρα πολλές για να παρουσιαστούν εδώ αναλυτικά. Γι' αυτό και θα εστιάσουμε κατά κύριο λόγο στην συνεισφορά του διαστημικού τηλεσκοπίου Hubble, ενώ η παρουσίαση των τριών άλλων αστροσκοπείων θα είναι πιο συνοπτική.

Το διαστημικό τηλεσκόπιο **Hubble** εκτοξεύθηκε στις 24 Απριλίου 1990 με τη βοήθεια του διαστημικού λεωφορείου Discovery. Έκτοτε, ο τεράστι-

ος όγκος των δεδομένων που συνέλεξε, χρησιμοποιήθηκε για την συγγραφή περίπου 12.000 (μέχρι τον Ιανουάριο του 2014) πρωτότυπων επιστημονικών εργασιών, οι οποίες δημοσιεύθηκαν σε έγκυρα περιοδικά με κριτές, ενώ συνέβαλαν καθοριστικά στην κατανόηση πολύπλοκων αστρονομικών φαινομένων. Το τηλεσκόπιο αυτό ονομάστηκε έτσι προς τιμή του Αμερικανού αστρονόμου Edwin Hubble, ο οποίος επιβεβαίωσε με τις παρατηρήσεις του την ύπαρξη και άλλων γαλαξιών εκτός του Γαλαξία μας και πρόσφερε στην επιστημονική κοινότητα την πρώτη,

τεκμηριωμένη με την παρατήρηση, απόδειξη ότι το Σύμπαν διαστέλλεται. Η απόδειξη αυτή συνοψίζεται στον περίφημο νόμο που φέρει το όνομά του, σύμφωνα με τον οποίο οι γαλαξίες απομακρύνονται με ταχύτητες ανάλογες της μεταξύ τους απόστασης.

Ένα από τα σημαντικότερα πεδία έρευνας του Hubble αφορά στον σχηματισμό των **πλανητικών νεφελωμάτων**, οι εντυπωσιακές εικόνες των οποίων βοήθησαν τους αστρονόμους να μελετήσουν τα τελευταία στάδια εξέλιξης των

Το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble (φωτογρ. NASA).



Το πλανητικό νεφέλωμα NGC 2818 [φωτογρ. NASA, ESA, Hubble Heritage Team (STScI/AURA)].





Αριστερά, η εικόνα XDF [φωτογρ. NASA, ESA, G. Illingworth, D. Magee and P. Oesch (University of California, Santa Cruz), R. Bouwens (Leiden University), and the HUDF09 Team] και δεξιά ο δακτύλιος σκοτεινής ύλης [φωτογρ. NASA, ESA, M.J. Jee and H. Ford (Johns Hopkins University)].

άστρων σαν τον Ήλιο. Τα πλανητικά νεφελώματα σχηματίζονται όταν τα άστρα αυτά μετατραπούν αρχικά σε κόκκινους γίγαντες και εν συνεχεία αποτινάζουν το εξωτερικό τους αέριο περιβλήμα, σχηματίζοντας ένα διαστελλόμενο νέφος αερίων, που περικλείει στο κέντρο του έναν πυκνό και υπέρθερμο **λευκό νάνο**. Το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble κατόρθωσε ακόμα να «δει» πιο πίσω στον χρόνο και πιο κοντά στη Μεγάλη Έκρηξη από ποτέ, αποτυπώνοντας τους αμυδρότερους και πλέον μακρινούς γαλαξίες που έχουν, ως τώρα, εντοπιστεί. Η προσπάθεια αυτή ξεκίνησε τον Δεκέμβριο του 1995, όταν οι αστρονόμοι προσανατόλισαν για 10 συνεχείς ημέρες τις κάμερες του Hubble προς το ίδιο σημείο του ουρανού στο βόρειο ημισφαίριο. Με τις εικόνες αυτές του «Βαθέος Πεδίου», όπως ονομάστηκαν, καθώς και με τις αντίστοιχες λήψεις που πραγματοποιήθηκαν τρία χρόνια αργότερα στο νότιο

ημισφαίριο, οι αστρονόμοι ανίχνευσαν το φως των πιο απόμακρων μέχρι τότε γαλαξιών.

Το «πείραμα» αυτό επαναλήφθηκε από τον Σεπτέμβριο του 2003 έως τον Ιανουάριο του 2004, προσφέροντας στην διεθνή επιστημονική κοινότητα τις νέες εικόνες «Εξαιρετικά Βαθέος Πεδίου». Στις εικόνες αυτές αποτυπώνονται 10.000 γαλαξίες, το αρχέγονο φως πολλών από τους οποίους ταξίδεψε ακόμα και 13 δισεκατομμύρια χρόνια μέχρι να φτάσει σε εμάς. Η εικόνα, τέλος, του «Ακραία Βαθέος Πεδίου», που δόθηκε στην δημοσιότητα το 2012, συνετέθη από τα δεδομένα που ελήφθησαν στην διάρκεια 10 ετών παρατήρησης και βελτιώνει το προηγούμενο ρεκόρ, διεισδύοντας ακόμη πιο πίσω στον χρόνο και φτάνοντας μέχρι και 13,2 δισ. χρόνια στο παρελθόν. Οι εικόνες αυτές έδωσαν την ευκαιρία στους αστρονόμους να μελετήσουν τον τρόπο με τον οποίο άρχισε

να ξεπροβάλλει και να διαμορφώνεται η τάξη και η δομή μέσα από το χαοτικό νεαρό Σύμπαν. Επιπλέον, τους βοήθησαν να διευρύνουν τις γνώσεις τους, όχι μόνο για τον σχηματισμό των πρώτων γαλαξιών του Σύμπαντος, αλλά και για τον τρόπο με τον οποίο οι μεγαλύτεροι γαλαξίες «χτίζονται» σταδιακά από μικρότερους διά μέσω αλληπάλληλων συγκρούσεων, συγχωνεύσεων και γαλαξιακού κανιβαλισμού.

Η συνεισφορά όμως του Hubble δεν σταματά εδώ. Χάρη στην λεπτομερή ανάλυση των δεδομένων που συνέλεξαν τα διαστημικά τηλεσκόπια Hubble και Chandra, το τηλεσκόπιο VLT του ESO, καθώς και τα οπτικά τηλεσκόπια Μαγγελάνος, η απεικόνιση του γαλαξιακού σμήνους **Σφαίρα** προσέφερε στην διεθνή επιστημονική κοινότητα μία ακόμη σοβαρή απόδειξη ότι η σκοτεινή ύλη όντως υπάρχει. Σύμφωνα με την διθυραμβική ανακοίνωση της NASA της 21^{ης} Αυγούστου 2006, το σμήνος αυτό δημιουργήθηκε από τη σύγκρουση δύο μικρότερων σμηνών, με αποτέλεσμα τον «διαχωρισμό» της σκοτεινής ύλης και των αερίων τους. Σύντομα ακολούθησε και μία δεύτερη απόδειξη. Με τη βοήθεια του διαστημικού τηλεσκοπίου Hubble οι αστρονόμοι απεικόνισαν έναν τεράστιο δακτύλιο σκοτεινής ύλης με διάμετρο 2,6 εκατ. έτη φως, ο οποίος σχηματίστηκε από την σύγκρουση δύο γαλαξιακών σμηνών πριν από 1–2 δισ. χρόνια. Τον Ιανουάριο του 2007, τέλος, παρουσιάστηκε στην επιστημονική κοινότητα ο πρώτος τρισδιάστατος χάρτης, βασισμένος σε πραγματικά παρατηρησιακά δεδομένα, ο οποίος



Οι αλληλεπιδρώντες γαλαξίες Arp 273 [φωτογρ. NASA, ESA and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA)].

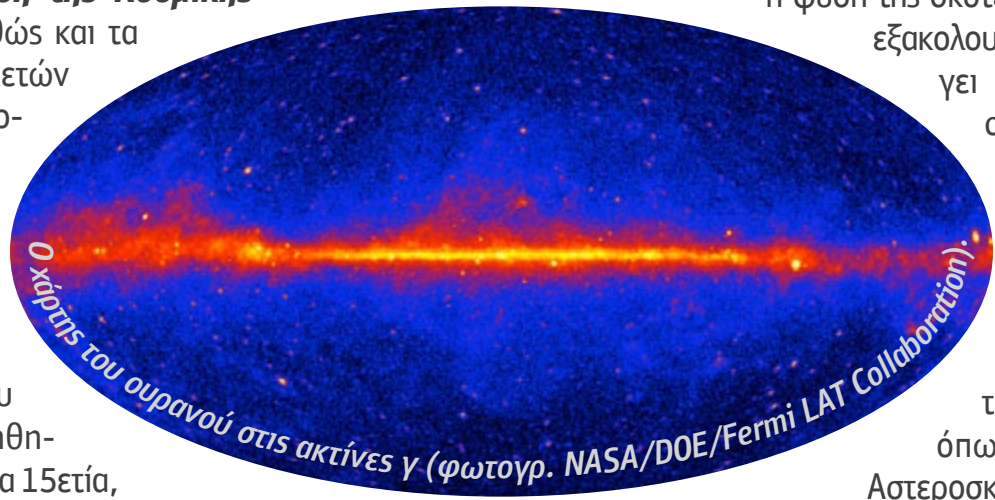
απεικονίζει την κατανομή της σκοτεινής ύλης του Σύμπαντος σε μεγάλη κλίμακα. Η χαρτογράφηση αυτή αποκάλυψε ένα δυναμικό δίκτυο νηματοειδών δομών, οι οποίες τέμνονται στις περιοχές που εντοπίζονται οι κολοσσιαίες συσσωρεύσεις ύλης, που αποτελούν τα γαλαξιακά σμήνη. Για να συνθέσουν αυτόν τον χάρτη, οι αστρονόμοι χρησιμοποίησαν τα δεδομένα της μεγαλύτερης επισκόπησης που έχει πραγματοποιήσει μέχρι σήμερα το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble, γνωστή ως **Επισκόπηση της Κοσμικής Εξέλιξης**, καθώς και τα δεδομένα αρκετών ακόμη τηλεσκοπίων.

Για πολλούς, η πλέον συναρπαστική επιστημονική ανακάλυψη που πραγματοποιήθηκε την τελευταία 15ετία, στην οποία συνεισέφερε το Hubble, δεν είναι άλλη από την **σκοτεινή ενέργεια**. Εντοπίζοντας ορισμένους από τους πλέον απομακρυσμένους υπερκαινοφανείς αστέρες που είχαν ως τότε παρατηρηθεί, οι αστρονόμοι κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η διαστολή του Σύμπαντος, αντί να επιβραδύνεται από τη βαρυτική έλξη μεταξύ όλων των μορφών ύλης που εμπεριέχει, αντιθέτως επιταχύνεται εξαιτίας μιας άγνωστης, αλλά βαρυτικά απωστικής, μορφής

ενέργειας, που ονομάστηκε «σκοτεινή». Η σκοτεινή ενέργεια, όμως, δεν υπερίσχυε πάντα της βαρύτητας. Με την βοήθεια του Hubble οι αστρονόμοι κατάφεραν να «παρακολουθήσουν» τα ίχνη της ακόμη και 9 δισ. χρόνια στο παρελθόν και να διαπιστώσουν ότι η κοσμική διεκυστίνδα μεταξύ σκοτεινής ενέργειας και βαρύτητας βρισκόταν ήδη σε εξέλιξη από την αρχέγονη εκείνη εποχή, ώσπου εντέλει υπερίσχυσε η πρώτη, πριν από 5 περίπου δισ. χρόνια. Ακόμη και σήμερα, όμως, η φύση της σκοτεινής ενέργειας εξακολουθεί να διαφεύγει από τους επιστήμονες.

Το δεύτερο κατά σειρά των Μεγάλων Αστεροσκοπειών της NASA ήταν, όπως είπαμε, το Αστεροσκοπείο Ακτίνων **γ Compton**, που εκτοξεύθηκε

στις 5 Απριλίου 1991 με την βοήθεια του διαστημικού λεωφορείου Atlantis. Η συμβολή του Compton στην διερεύνηση των βίαιων φαινομένων του Σύμπαντος που σχετίζονται με τις ακτίνες γ ήταν καθοριστική, δυστυχώς όμως τελείωσε πρόωρα το 2000, εξαιτίας της βλάβης σε ένα από τα τρία γυροσκόπια που έλεγχαν τον προσανατολισμό του. Το γεγονός αυτό ανάγκασε την NASA να επιλέξει την ελεγχόμενη συντριβή



του στην Γη εκτρέποντάς το από την τροχιά του σε μία χαμηλότερη, ώσπου εντέλει εισήλθε στην γήινη ατμόσφαιρα στις 4 Ιουνίου 2000 και τα συντρίμμιά του κατέπεσαν κάπου στον Ειρηνικό ωκεανό. Το διαστημικό αυτό αστεροσκοπείο ονομάστηκε έτσι προς τιμήν του Αμερικανού φυσικού **Arthur Compton** (1892–1962), ο οποίος βραβεύθηκε με το Νόμπελ Φυσικής 1927 για τις μελέτες του που αποδείχθηκαν καθοριστικές ως προς τις τεχνικές ανίχνευσης των ακτίνων γ από διαστημικά τηλεσκόπια.

Το Compton ανακάλυψε εκατοντάδες άγνωστες ως τότε πηγές ακτίνων γ, ανίχνευσε τις ακτίνες γ που εικλύνονται από μαύρες τρύπες, σουπερνόβα αλλά και από τον Ήλιο, ενώ βοήθησε τους αστρονόμους να προσδιορίσουν τον τρόπο με τον οποίο οι μαύρες τρύπες ενεργοποιούν τεράστιους πίδακες ακτίνων X και γ. Το Compton, τέλος, ανίχνευσε περισσότερες από 2.600 εκλάμψεις ακτίνων γ; η μελέτη των οποίων οδήγησε τους αστρονόμους να τις κατηγοριοποιήσουν, ανάλογα με την διάρκειά τους, σε δύο ομάδες, αλλά και να συνειδητοποιήσουν ότι προκαλούνται από θεμελιωδώς διαφορετικές φυσικές διεργασίες.

Οι **εκλάμψεις ακτίνων γ** συγκαταλέγονται ανάμεσα στα βιαιότερα φαινόμενα που μπορούν να εκδηλωθούν στο Σύμπαν, με εξαίρεση την Μεγάλη Έκρηξη που το «γέννησε». Παρόλο που οι αστρονόμοι συνεχίζουν να αγνοούν πολλά για τους φυσικούς μηχανισμούς που τις προκαλούν, μία θεωρία που έχει προταθεί, σχετίζει

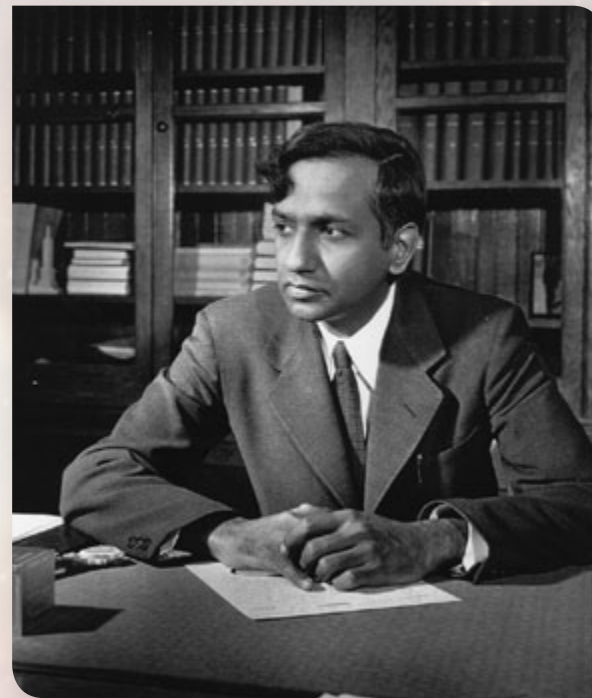
Καλλιτεχνική αναπαράσταση
έκλαμψης ακτίνων γ
(φωτογρ. ESO/L. Calçada).

τις εκλάμψεις ακτίνων γ μεγάλης διάρκειας με τις επονομαζόμενες εκρήξεις **υπερνόβα**. Οι εκρήξεις αυτές είναι κατά πολύ ισχυρότερες από τις «κλασικές» εκρήξεις σουπερνόβα και προκαλούνται όταν ένα τεράστιο άστρο καταρρέυσει σε μαύρη τρύπα. Σ' αυτήν την περίπτωση, καθώς ύλη από το άστρο συνεχίζει να καταρρέει προς την μαύρη τρύπα που έχει διαμορφωθεί στο κέντρο του, σχηματίζει γύρω της έναν περιστρεφόμενο δίσκο υπέρθερμων υλικών. Για λόγους που δεν είναι ακόμη απολύτως κατανοητοί, η ύλη αυτή, προτού χαθεί για πάντα στο εσωτερικό της μαύρης τρύπας, εστιάζει μέρος από την ενέργειά της σε δύο πανίσχυρους πίδακες ακτίνων γ, οι οποίοι εκτοξεύονται από τους πόλους της μαύρης τρύπας σε κλάσματα του δευτερολέπτου, προτού το ίδιο το άστρο διαμελιστεί από την έκρηξη υπερνόβα. Όσον αφορά στις εκλάμψεις ακτίνων γ μικρής διάρκειας, αυτές εικάζεται ότι προκαλούνται κατά την σύγκρουση και συγχώνευση δύο αστέρων νετρονίων ή ενός αστέρα νετρονίων και μίας μαύρης τρύπας.

Το τρίτο Μεγάλο Αστεροσκοπείο της NASA δεν είναι άλλο από το Διαστημικό Αστεροσκοπείο Ακτίνων Χ **Chandra**, που τέθηκε σε τροχιά γύρω από την Γη με την βοήθεια του διαστημικού λεωφορείου Columbia στις 23 Ιουλίου 1999. Όπως υποδηλώνει και το όνομά του, το Chandra είναι σχεδιασμένο έτσι, ώστε να ανιχνεύει τις εκπομπές ακτίνων Χ που εκλύονται κατά την διάρκεια ορισμένων από τα πιο παράξενα και βίαια φαινόμενα του Σύμπαντος. Η κατασκευή αυτού

του διαστημικού τηλεσκοπίου με διαφορετική όμως επωνυμία (Advanced X-ray Astrophysics Facility), είχε προταθεί από την NASA ήδη από το 1976. Λίγο πριν την εκτόξευσή του, όμως, μετονομάστηκε σε Chandra, προς τιμήν του κορυφαίου Ινδού αστροφυσικού και κατόχου του Νόμπελ Φυσικής **Subrahmanyan Chandrasekhar** (1910–1995), γνωστότερου στους συναδέλφους του ως «Chandra», που στα σανσκριτικά σημαίνει «Σελήνη» ή «φωτεινός».

Με την απaráμιλλη ευαισθησία και διακριτική του ικανότητα, το Chandra συνέλεξε δεδομένα από μία ευρεία ποικιλία ουράνιων σωμάτων: από γει-



Ο Ινδός αστροφυσικός Chandrasekhar (φωτογρ. University of Chicago Press).

τονικούς μας πλανήτες και κομήτες, μέχρι τα πλέον απομακρυσμένα κβάζαρ. Απεικόνισε, μεταξύ άλλων, τα «λείψανα» εκρήξεων σουπερνόβα, κατέγραψε την διασπορά των βαρέων στοιχείων που οι εκρήξεις αυτές εκλύουν στο Διάστημα, ανακάλυψε μαύρες τρύπες παντού στο Σύμπαν και πραγματοποίησε λεπτομερείς παρατηρήσεις στην περιοχή γύρω από την γιγάντια μαύρη τρύπα, που βρίσκεται στον πυρήνα του Γαλαξία μας. Το Chandra, επίσης, συνέβαλε σημαντικά και στην μελέτη της σκοτεινής ύλης, απεικονίζοντας μεταξύ άλλων τον διαχωρισμό της από την συνηθισμένη (βαρυονική) ύλη. Ο διαχωρισμός

αυτός προκαλείται κατά τις συγκρούσεις μεταξύ γαλαξιακών σμηνών, ενώ με τα δεδομένα που συνεχίζει να συλλέγει, συμβάλλει αποφασιστικά και στην έρευνα για την αποκρυπτογράφηση της φύσης της σκοτεινής ενέργειας.

Τελευταίο στην «παρέα» των Μεγάλων Αστεροσκοπειών της NASA προστέθηκε το διαστημικό τηλεσκόπιο SIRTf, γνωστότερο ως **Spitzer**, προς τιμήν του Αμερικανού αστροφυσικού **Lyman Spitzer** (1914–1997), ο οποίος συνέβαλε αποφασιστικά στην ανάπτυξη του διαστημικού τηλεσκοπίου Hubble, αλλά ήταν και ο πρώτος

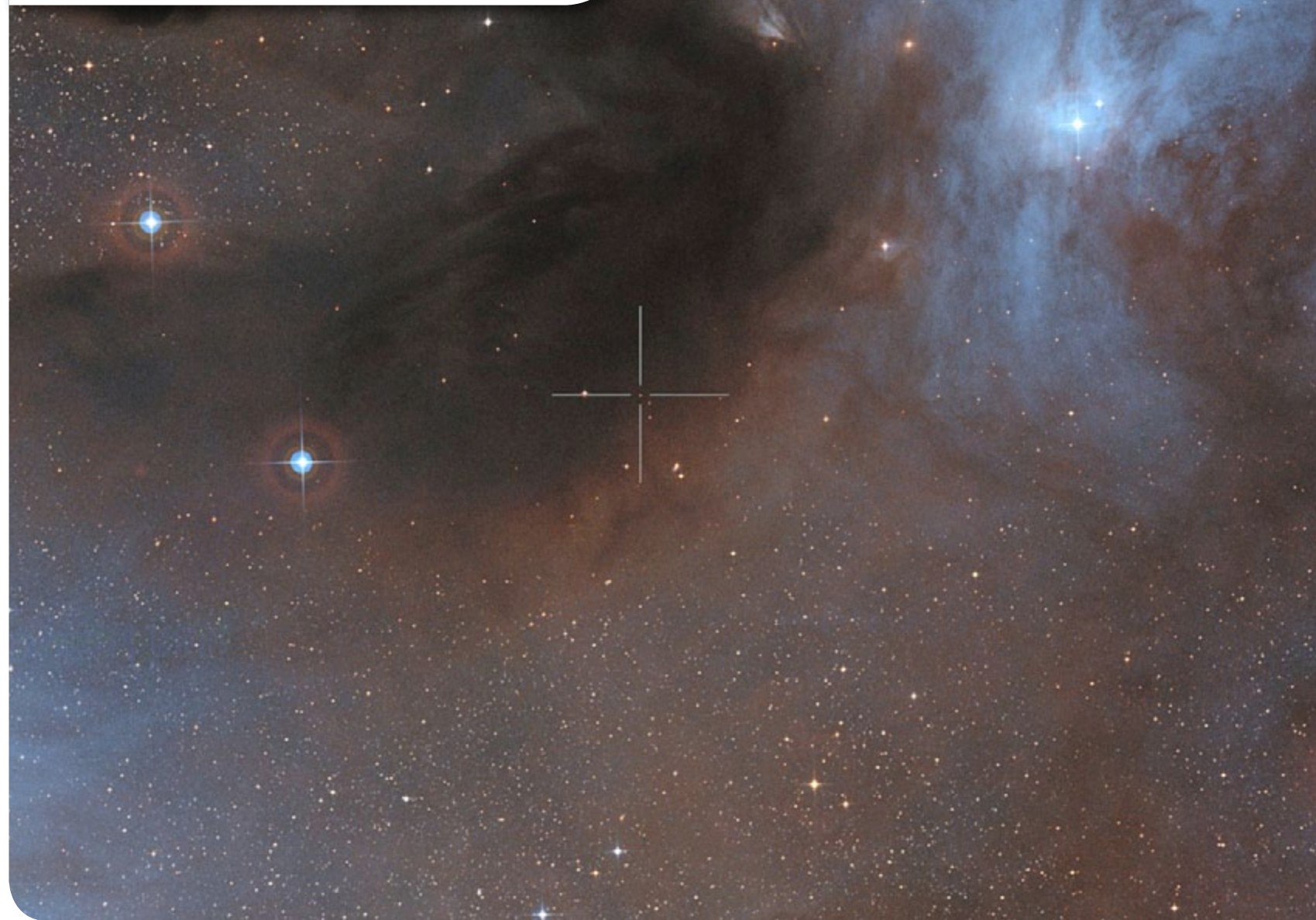


Το αστρικό σμήνος Cygnus OB2 σε σύνθετη εικόνα που ελήφθη με την βοήθεια των τηλεσκοπίων Chandra, Spitzer και Ισαάκ Νεύτωνας (φωτογρ. X-ray: NASA/CXC/SAO/J. Drake et al, Optical: Univ. of Hertfordshire/INT/IPHAS, Infrared: NASA/JPL-Caltech).

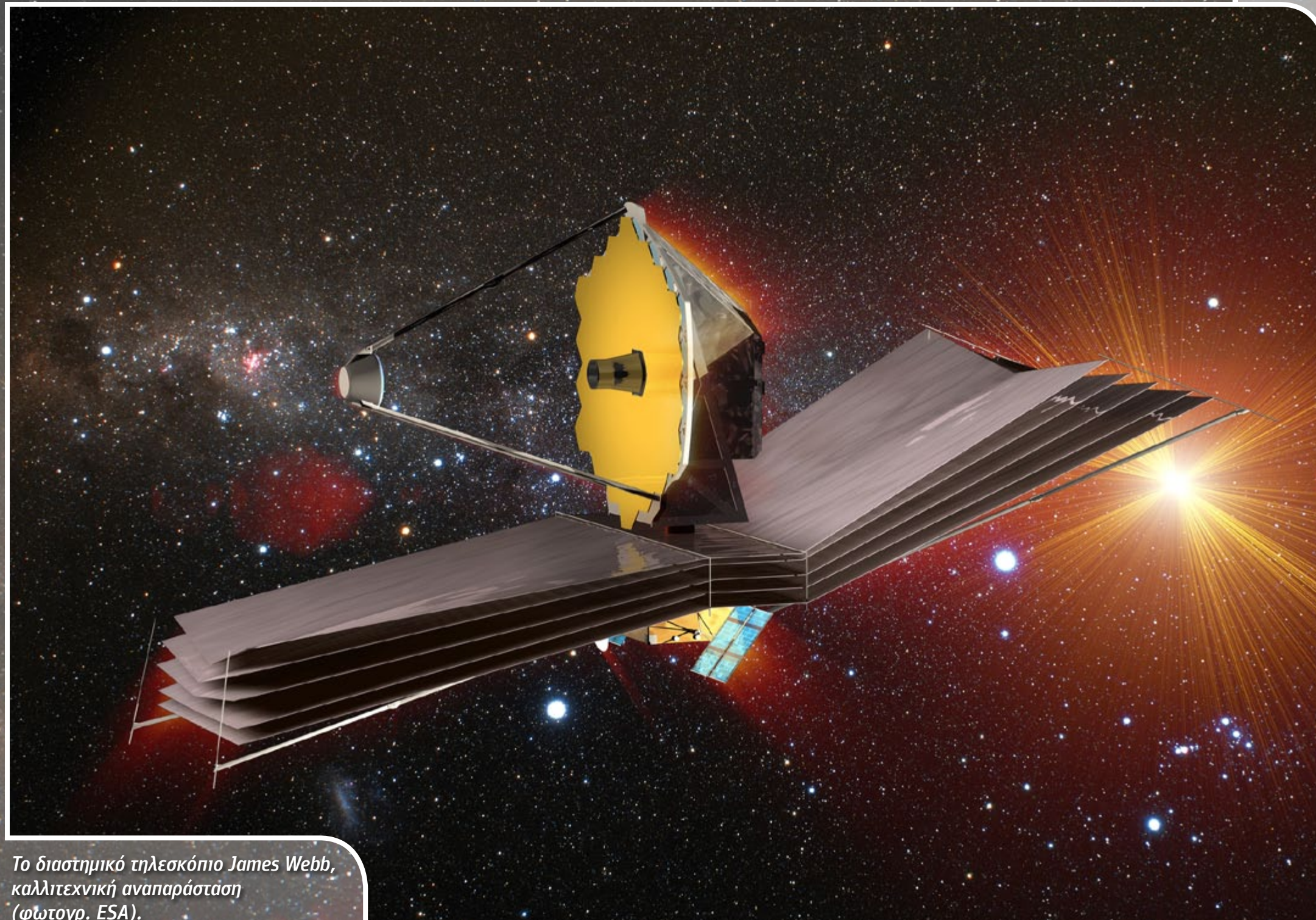
που διερεύνησε συστηματικά την τοποθέτηση μεγάλων τηλεσκοπίων στο Διάστημα. Το Spitzer, που εκτοξεύθηκε στις 25 Αυγούστου 2003, ανιχνεύει την υπέρυθρη ακτινοβολία, συλλέγοντας δεδομένα για ουράνια σώματα, τα οποία κατά κύριο λόγο είναι πολύ ψυχρά και που γι' αυτόν τον λόγο δεν εκπέμπουν ακτινοβολία στο ορατό και σε χαμηλότερα μήκη κύματος. Επί πλέον, πολλά απ' τα ουράνια σώματα του Σύμπαντος βρίσκονται βαθιά μέσα σε νέφη αερίων και σκόνης ή και κρύβονται πίσω απ' αυτά. Για παράδειγμα, στα πρώτα στάδια του σχηματισμού τους, όλα τα άστρα και τα πλανητικά συστήματα περιβάλλονται από τα νέφη αερίων και σκόνης μέσα στα οποία γεννήθηκαν. Επειδή, όμως, τα σωματίδια σκόνης απορροφούν και διαθλούν το ορατό φως, είναι σχεδόν αδύνατο να μελετήσει κάποιος με οπτικά τηλεσκόπια αυτά τα πρώτα στάδια της εξέλιξης των νεογέννητων άστρων. Επειδή όμως στα μήκη κύματος που «βλέπει» το Spitzer όλα ανεξαιρέτως τα υλικά σώματα «λάμπουν» και η θερμική ακτινοβολία που θα εξεπέμπε το ίδιο το τηλεσκόπιο θα «παραμόρφωνε» τα δεδομένα που προσπαθεί να συλλέξει, το τηλεσκόπιο είναι εφοδιασμένο με μια μεγάλη δεξαμενή υγρού ηλίου, που διατηρεί τη θερμοκρασία των διαφόρων τμημάτων του στους μόλις 5 βαθμούς πάνω από το απόλυτο μηδέν. Όμως, παρόλο που το ψυκτικό υγρό του εξαντλήθηκε τον Μάιο του 2009, το Spitzer εξακολουθεί να λειτουργεί ακόμη και σήμερα.

Το τηλεσκόπιο αυτό επιτρέπει στους αστρονό-

Το σταυρόνημα σημειώνει την θέση του καφέ νάνου, που εντοπίστηκε στην περιοχή αστρογένεσης ρ Οφιούχου [φωτογρ. ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/ Digitized Sky Survey 2. Ackn.: Davide De Martin].



μους να διεισδύσουν σε περιοχές του Σύμπαντος, οι οποίες είναι αδιαφανείς στα οπτικά τηλεσκόπια, όπως τα γεμάτα σκόνη και αέρια αστρικά μαιευτήρια, οι γαλαξιακοί πυρήνες και τα νεογέννητα πλανητικά συστήματα. Εκτός, όμως, αυτού, το Spitzer χρησιμοποιείται και για την μελέτη των «αποτυχημένων» άστρων, που ονομάζονται **καφέ νάνοι**. Τα «άστρα» αυτά είναι τόσο μικρά, που δεν κατάφεραν να συσσωρεύσουν με την βαρυτική τους έλξη τα ελάχιστα υλικά που απαιτούνται για την έναρξη των πυρηνικών αντιδράσεων σύντηξης στο εσωτερικό τους. Γι' αυτό και εκπέμπουν κυρίως υπέρυθρη ακτινοβολία, που μόνο τηλεσκόπια όπως το Spitzer μπορούν να ανιχνεύσουν. Το Spitzer, τέλος, κατάφερε να απεικονίσει ορισμένους από τους πιο απομακρυσμένους γαλαξίες του Σύμπαντος. Γιατί, καθώς το Σύμπαν διαστέλλεται και οι γαλαξίες απομακρύνονται από εμάς με ταχύτητες ανάλογες της απόστασης που μας χωρίζουν, το φως κάθε μακρινού γαλαξία που απομακρύνεται από την Γη «ξεχειλώνει» προς τα υπέρυθρα μήκη κύματος. Αυτό σημαίνει ότι ένας πολύ μακρινός γαλαξίας, που εκπέμπει κατά κύριο λόγο ορατή και υπεριώδη ακτινοβολία, εξαιτίας αυτής της «ξεχειλίωσης» θα «φαιίνεται» υπέρυθρος. Η απεικόνιση αυτών των «υπέρυθρων» γαλαξιών από το Spitzer, συμβάλλει στην προσπάθεια των αστρονόμων να προσδιορίζουν πότε ακριβώς, αλλά και με ποιον φυσικό μηχανισμό, σχηματίστηκαν οι πρώτοι γαλαξίες του Σύμπαντος ◀



Το διαστημικό τηλεσκόπιο *James Webb*, καλλιτεχνική αναπαράσταση (φωτογρ. ESA).

5. Το Διαστημικό Τηλεσκόπιο *James Webb*

Ο σχεδιασμός και η κατασκευή διαστημικών τηλεσκοπίων είναι ένα ιδιαίτερα πολύπλοκο εγχείρημα, που συνιστά πρόκληση για τους εκατοντάδες επιστήμονες και τεχνικούς, οι οποίοι εργάζονται στα διάφορα διαστημικά προγράμματα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το διαστημικό τηλεσκόπιο **James Webb**, το οποίο σχεδιάστηκε προκειμένου να αντικαταστήσει το γερασμένο πια Hubble και αποτελεί μια διεθνή συνεργασία των διαστημικών υπηρεσιών των ΗΠΑ, της Ευρώπης και του Καναδά. Γνωστότερο παλαιότερα ως το *Διαστημικό Τηλεσκόπιο Νέας Γενιάς*, το όνομά του άλλαξε το 2002 προς τιμήν του δεύτερου Διοικητή της NASA **James Webb** (1906–1992), η θητεία του οποίου συνέπεσε με τα πρώτα στάδια της προετοιμασίας του προγράμματος **Apollo** για την υλοποίηση επανδρωμένων διαστημικών αποστολών στην Σελήνη, από το 1961 έως το 1968.

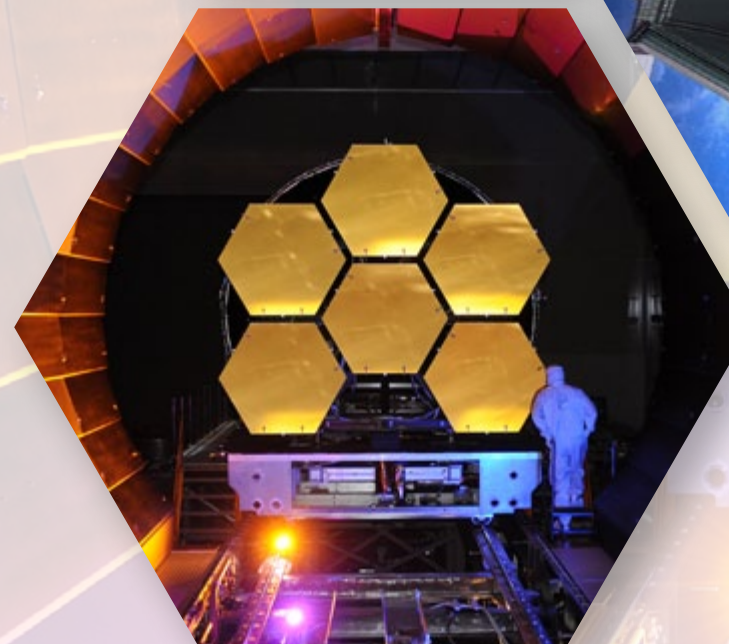
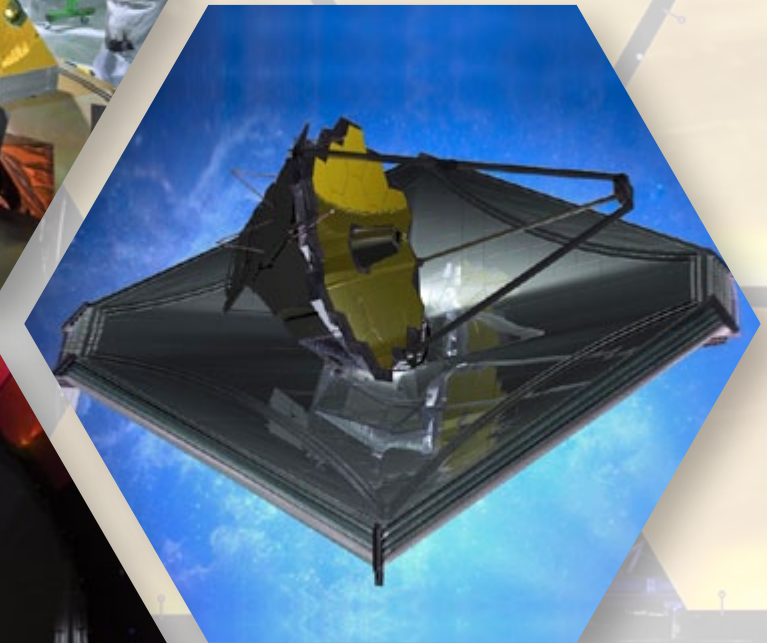


Έχοντας ήδη υπερβεί κατά πολύ τον αρχικό του προϋπολογισμό, αλλά και την αρχικά προβλεπόμενη ημερομηνία εκτόξευσής του, υπήρξαν σκέψεις ακόμη και για την ακύρωση του όλου προγράμματος. Ευτυχώς για την αστρονομική έρευνα, αυτό δεν συνέβη και, όπως υπολογίζεται, το διαστημικό τηλεσκόπιο James Webb, που δικαίως θεωρείται ότι θα αποτελέσει το σπουδαιότερο ίσως διαστημικό τηλεσκόπιο της επόμενης δεκαετίας, θα εκτοξευθεί το 2018. Το διαστημικό τηλεσκόπιο James Webb θα «βλέπει» στο υπέρυθρο και έχει σχεδιαστεί έτσι, ώστε να μελετήσει σχεδόν κάθε «εποχή» της εξέλιξης του Σύμπαντος, από τις πρώτες φωτεινές δομές που σχηματίστηκαν μετά την Μεγάλη Έκρηξη, μέχρι τον σχηματισμό πλανητικών συστημάτων και τον εντοπισμό εξωπλανητών, ευνοϊκών για την εμφάνιση της ζωής. Με την βοήθεια του νέου αυτού τηλεσκοπίου, οι αστρονόμοι θα ανιχνεύσουν τα πρώτα άστρα και τους πρώτους μικρούς γαλαξίες του Σύμπαντος και θα διερευνήσουν τον τρόπο με τον οποίο η ακτινοβολία των πρώτων αυτών δομών «βοήθησε» το νεαρό και σκοτεινό τότε Σύμπαν να εξέλθει από την σκοτεινή εποχή του Κοσμικού του Μεσαίωνα.

Η σπουδαιότερη ίσως καινοτομία που περιλαμβάνει το νέο αυτό τηλεσκόπιο αφορά στο κύριο κάτοπτρο, το οποίο θα έχει διάμετρο 6,5 m, δηλαδή πολύ μεγαλύτερο απ' αυτό του Hubble, ενώ θα αποτελείται από 18 εξάγωνα τμήματα, κατασκευασμένα από βηρύλλιο, ένα ιδιαίτερα ανθεκτικό και ελαφρύ μέταλλο. Εξαιτίας, όμως,

του μεγάλου μεγέθους του, το κύριο κάτοπτρο του τηλεσκοπίου θα παραμείνει διπλωμένο κατά την εκτόξευσή του και θα αναπτυχθεί στο πραγματικό του μέγεθος, μόνο όταν φτάσει στον τελικό του προορισμό. Το διαστημικό τηλεσκόπιο James Webb θα ανιχνεύει, όπως είπαμε, την υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπουν ορισμένα από τα πιο απομακρυσμένα και αμυδρά αντικείμενα του Σύμπαντος. Προκειμένου, όμως, τα ασθενέστατα αστρονομικά σήματα που ενδιαφέρουν τους αστρονόμους να μην «πνίγονται» από την θερμική ακτινοβολία που θα εκπέμπει το τηλεσκόπιο, θα πρέπει τόσο το κύριο κάτοπτρο, όσο και τα υπόλοιπα επιστημονικά του όργανα να διατηρούνται σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες.

Για τον λόγο αυτόν το νέο διαστημικό τηλεσκόπιο θα είναι εξοπλισμένο με μία ασπίδα προστασίας από τις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές του Ήλιου, της Γης και της Σελήνης, που σε διαφορετική περίπτωση θα το υπερθέρμαιναν. Προκειμένου, όμως, η ασπίδα του να λειτουργεί αποτελεσματικά, θα πρέπει τα τρία αυτά ουράνια σώματα να βρίσκονται συνεχώς προς την ίδια πλευρά του τηλεσκοπίου έτσι, ώστε το κύριο κάτοπτρο και τα επιστημονικά του όργανα να παραμένουν διαρκώς στην σκιά της. Μ' αυτόν τον τρόπο δεν θα προστατεύονται μόνο από την θερμότητα του Ήλιου, αλλά και από την θερμότητα που εκπέμπουν τα ηλεκτρονικά συστήματα της κύριας διαστημοσυσκευής. Για τους λόγους αυτούς, το διαστημικό τηλεσκόπιο James Webb δεν θα περιφέρεται γύρω από τον πλανήτη μας, όπως το



Ο έλεγχος των τμημάτων του κατόπτρου είναι σχολαστικός [φωτογρ. NASA/Chris Gunn (πάνω), Ball Aerospace (κάτω)]. Δεξιά διακρίνεται το James Webb σε καλλιτεχνική αναπαράσταση (φωτογρ. Northrop Grumman).

Hubble, αλλά θα τοποθετηθεί σε τροχιά γύρω από το επονομαζόμενο σημείο Lagrange-2, 1,5 εκατ. km μακριά από τη Γη, και αντιδιαμετρικά από τον Ήλιο. Μ' αυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται ότι ο Ήλιος, η Γη και η Σελήνη θα βρίσκονται δι-αρκώς στην ίδια πλευρά του τηλεσκοπίου.

Ο κύριος ερευνητικός τομέας στον οποίο αναμέ-νεται να συμβάλει αποφασιστικά το διαστημικό τηλεσκόπιο James Webb αφορά στην διερεύ-νηση του τρόπου με τον οποίο ολοκληρώθηκε η επονομαζόμενη **Σκοτεινή Εποχή** ή **Κοσμι-**

κός Μεσαίωνας. Η εποχή αυτή στην εξέλιξη του Σύμπαντος διαρκεί κατά προσέγγιση από την χρονική στιγμή που απελευθερώθηκε η κοσμική ακτινοβολία υποβάθρου, δηλαδή σχε-δόν 380.000 χρόνια μετά την Μεγάλη Έκρηξη, και για τα επόμενα 400 εκατ. χρόνια περίπου. Επειδή καθόλη την διάρκεια αυτής της περιόδου δεν είχαν ακόμη σχηματιστεί τα πρώτα άστρα και οι πρώτοι γαλαξίες, επειδή με άλλα λόγια ήταν μια εποχή που χαρακτηριζόταν από την παντε-λή απουσία φωτεινών πηγών, προσδιορίστη-κε από τους αστρονόμους ως «σκοτεινή», κάτι

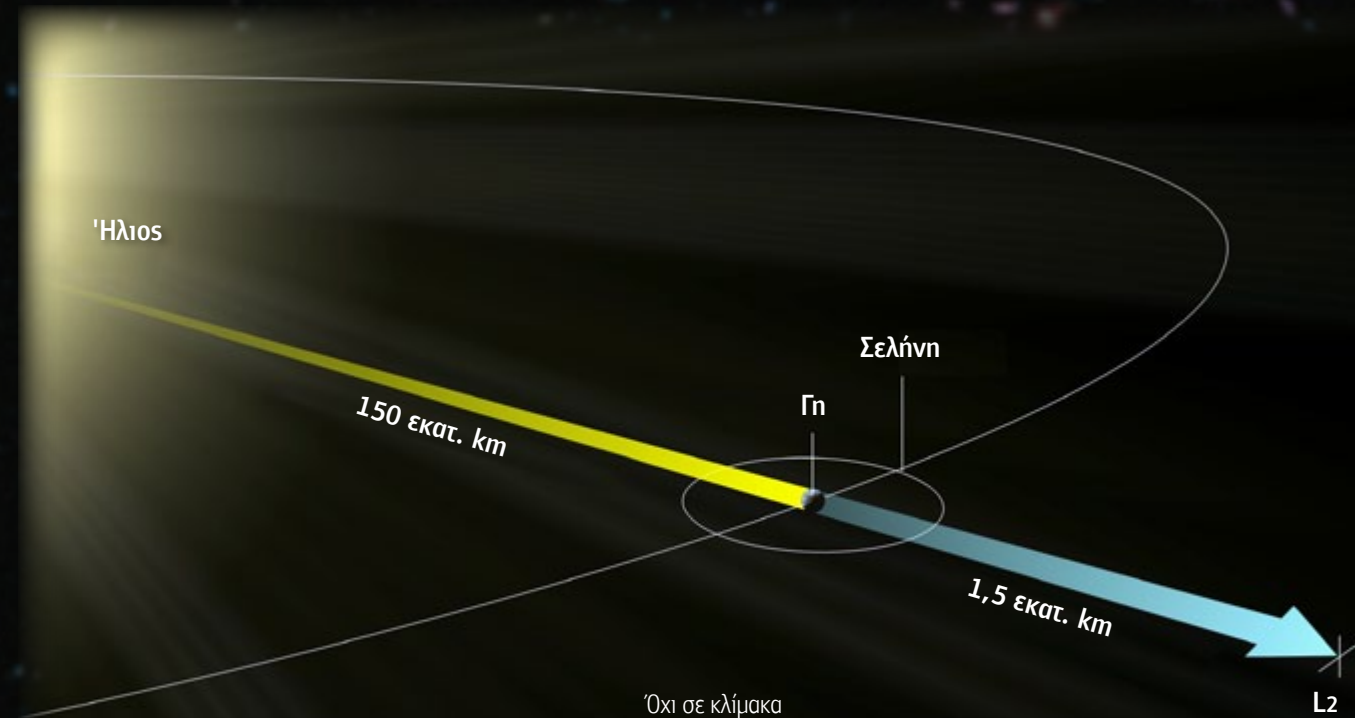
που αποδίδεται στην διεθνή ορολογία ως **Dark Ages**, δηλαδή Σκοτεινές Εποχές, αλλά και Με-σαίωνας. Πρόκειται για μία εποχή για την οποία ακόμη αγνοούμε πολλά.

Το Σύμπαν, σχεδόν αμέσως μετά την γένεσή του, ήταν γεμάτο με μια καυτή «σούπα» στοι-χειωδών σωματιδίων. Καθώς, όμως, διαστελλό-ταν και η θερμοκρασία του μειωνόταν συνεχώς, τα ηλεκτρόνια ενώθηκαν με τα πρωτόνια, σχη-ματίζοντας ουδέτερα άτομα υδρογόνου. Όπως εξηγήσαμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, με

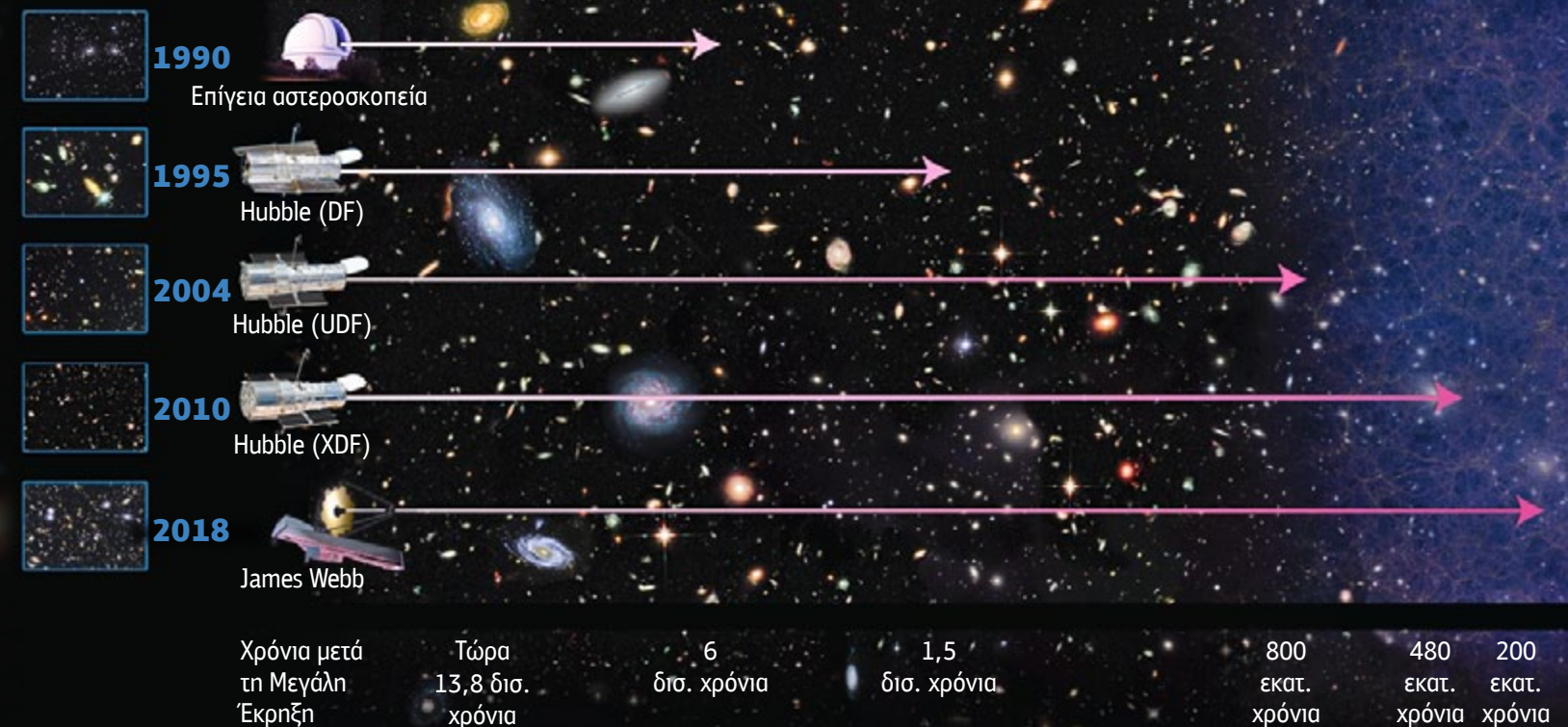
την ένωση ηλεκτρονίων και πρωτονίων και τον σχηματισμό ουδέτερου ατομικού υδρογόνου, η θερμική λάμψη του αρχέγονου πλάσματος απε-λευθερώθηκε με την μορφή της κοσμικής ακτι-νοβολίας υποβάθρου. Από την στιγμή αυτή και μετά το Σύμπαν εισέρχεται στην Σκοτεινή Εποχή του, ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό της ύλης που εμπεριέχει είναι σκοτεινή ύλη, αναμειγμένη με υδρογόνο και ήλιο, απ' τα οποία θα σχηματι-στούν όλα τα άστρα του Σύμπαντος.

Σύμφωνα με τα όσα γνωρίζουμε ως τώρα, τα

Το σημείο L2, γύρω απ' το οποίο θα τεθεί σε τροχιά το νέο τηλεσκόπιο (φωτογρ. ESA).



Το James Webb θα μας ταξιδέψει ακόμη πιο πίσω στον χρόνο απ' όσο μας έχει ταξιδέψει το Hubble (φωτογρ. NASA, ESA).



πρώτα άστρα του Σύμπαντος ήταν πραγματικοί γίγαντες, εκατοντάδες φορές μεγαλύτεροι από τον Ήλιο και εκατομμύρια φορές φωτεινότεροι, που κατανάλωναν με ραγδαίο ρυθμό τα πυρηνικά τους καύσιμα, προτού διαμελιστούν σε εκρήξεις σουπερνόβα σε λίγα μόνο εκατομμύρια χρόνια. Η εμφάνιση των πρώτων αυτών άστρων σηματοδοτεί την αρχή του τέλους για την εποχή του Κοσμικού Μεσαίωνα, μια εποχή που, όπως είπαμε, χαρακτηρίζεται από την παντελή απουσία διακριτών πηγών φωτός. Το Σύμπαν, λοιπόν, άρχισε να «αναδύεται» από τα σκοτεινά χρόνια του Κοσμικού Μεσαίωνα όταν η υψηλής ενέργειας υπεριώδης ακτινοβολία που διέχεαν στο Διάστημα τα πρώτα αυτά άστρα άρχισε να ιονίζει τα ουδέτερα άτομα υδρογόνου, δηλαδή να τα διασπά εκ νέου σε ηλεκτρόνια και πρωτόνια. Η εποχή αυτή, στο τέλος της οποίας το μεγαλύτερο ποσοστό του ουδέτερου υδρογόνου είχε ήδη ιονιστεί από την ακτινοβολία των πρώτων άστρων, είναι γνωστή σήμερα ως η **Εποχή του Επαναϊονισμού** και υπολογίζεται ότι ολοκληρώθηκε περίπου 1 δισ. χρόνια μετά την Μεγάλη Έκρηξη. Η εποχή αυτή σχετίζεται καίρια με πολλά και αναπάντητα ακόμη κοσμολογικά ερωτήματα που αφορούν στον σχηματισμό και στην εξέλιξη της δομής μέσα στο Σύμπαν. Όμως, παράλληλα την κομβική σημασία τους, τόσο η Εποχή του Επαναϊονισμού όσο και η Σκοτεινή Εποχή που προηγήθηκε, παραμένουν δύο από τις λιγότερο κατανοητές περιόδους της εξέλιξης του Σύμπαντος, γιατί η θεωρητική έρευνα που διεξάγεται γι' αυτόν τον σκοπό καθοδηγείται από έναν πολύ

περιορισμένο αριθμό παρατηρησιακών δεδομένων. Με την βοήθεια του διαστημικού τηλεσκοπίου James Webb οι αστρονόμοι ευελπιστούν ότι ο διαθέσιμος όγκος των δεδομένων απ' αυτήν την περίοδο θα αυξηθεί εντυπωσιακά.

Μελετώντας την εποχή αυτή οι αστρονόμοι μπορούν να διευρύνουν τις γνώσεις τους για τον τρόπο με τον οποίο η αρχικά εντυπωσιακά ομοιόμορφη κατανομή της ύλης, όπως αυτή αναδεικνύεται μέσα από τις μελέτες της κοσμικής ακτινοβολίας υποβάθρου, εξελίχθηκε στις δομές που παρατηρούμε σήμερα, δηλαδή στους γαλαξίες και τα γαλαξιακά σμήνη. Το πώς ακριβώς συνέβη αυτή η μετάβαση δεν το γνωρίζουμε ακόμη με ακρίβεια. Ενώ, για παράδειγμα, γνωρίζουμε πώς ήταν το Σύμπαν όταν απελευθερώθηκε η κοσμική ακτινοβολία υποβάθρου, και ενώ γνωρίζουμε πώς είναι το Σύμπαν σήμερα, όμως το πώς ακριβώς εξελίχθηκε από την μορφή που είχε τότε στην μορφή που έχει τώρα δεν είναι ακόμη απολύτως κατανοητό. Γνωρίζουμε, εντούτοις, ότι οι πρώτες αυτές συμπαγείς δομές άρχισαν να «χτίζονται» σταδιακά, μέσα απ' την βαρυτική κατάρρευση περιοχών, οι οποίες είχαν μεγαλύτερη συγκέντρωση ύλης από τις γειτονικές τους, δίνοντας έτσι το έναυσμα για τον σχηματισμό των πρώτων άστρων και λίγο αργότερα των πρώτων μικρών γαλαξιών και των πρώτων κβάζαρ.

Σε γενικές γραμμές, πάντως, οι αστρονόμοι πιστεύουν ότι το Σύμπαν εξήλθε από την σκοτεινή εποχή του Κοσμικού Μεσαίωνα περίπου με τον ακόλουθο τρόπο: Καθώς άρχισαν να σχηματίζο-

Η ΕΠΟΧΗ ΤΟΥ ΕΠΑΝΑΪΟΝΙΣΜΟΥ

Χρόνια μετά τη Μεγάλη Έκρηξη

~300.000

~500 εκατ.

~1 δισ.

~9 δισ.

~13 δισ.



← Μεγάλη Έκρηξη
Η ύλη είναι ιονισμένη
← Η ύλη γίνεται ηλεκτρικά ουδέτερη
Έναρξη Σκοτεινών Χρόνων

Σχηματισμός των πρώτων γαλαξιών
Έναρξη Επαναϊονισμού

Τέλος Σκοτεινών Χρόνων

← Τέλος Επαναϊονισμού

Γαλαξιακή εξέλιξη

Σχηματισμός Ηλιακού Συστήματος

Σήμερα

νται τα πρώτα άστρα, η ενεργητική ακτινοβολία που δέχεαν στο Διάστημα θέρμαινε τοπικά την περιοχή που τα περιέβαλλε, ιονίζοντας το υδρογόνο που υπήρχε εκεί, διασπώντας το με άλλα λόγια σε ηλεκτρόνια και πρωτόνια. Μ' αυτόν περίπου τον τρόπο, οι πρώτες φωτεινές πηγές του Σύμπαντος άρχισαν να σχηματίζουν γύρω τους «φουσαλίδες» ιονισμένου πλάσματος, οι οποίες διευρύνονταν, αλλά και πολλαπλασιάζονταν διαρκώς, με κάθε νέο άστρο που γεννιόταν. Κάπως έτσι, καθώς δηλαδή οι φουσαλίδες πλάσματος γύρω από τα πρώτα άστρα, αλλά και τους πρώτους γαλαξίες που είχαν εν τω μεταξύ σχηματιστεί, επεκτείνονταν όλο και περισσότερο, και καθώς όλο και περισσότερο ουδέτερο υδρογόνο εξετίθετο στην ενεργητική τους ακτινοβολία, οι ιονισμένες περιοχές του Σύμπαντος διευρύνονταν συνεχώς. Εντέλει, περίπου 1 δισ. χρόνια μετά την Μεγάλη Έκρηξη, το μεγαλύτερο ποσοστό της μεσογαλαξιακής ύλης στο Σύμπαν είχε επαναϊονιστεί και η εποχή του Κοσμικού Μεσαίωνα έφτασε στο τέλος της. Ορισμένους από αυτούς τους πρωταρχικούς γαλαξίες τους παρατηρούμε σήμερα με τα οπτικά και υπέρυθρα τηλεσκόπιά μας, αλλά δεν γνωρίζουμε ακόμη με ακρίβεια πότε ακριβώς σχηματίστηκαν τα πρώτα άστρα, πότε οι πρώτοι γαλαξίες, πότε ξεκίνησε η Εποχή του Επαναϊονισμού και πότε ολοκληρώθηκε.

Με την βοήθεια των δεδομένων που θα συλλέξει το διαστημικό τηλεσκόπιο James Webb απ' αυτήν την εποχή, οι αστρονόμοι εκτός από τα πιο πάνω ερωτήματα θα μπορέσουν ενδεχομένως να απα-

Υπολογιστική προσομοίωση των νηματοειδών δομών σκοτεινής ύλης [φωτογρ. Ralf Kaehler, Oliver Hahn and Tom Abel (KIPAC)].



ντήσουν και σε κάποια άλλα, που σχετίζονται με τον σχηματισμό δομών μεγάλης κλίμακας. Χάρη στα επίγεια και διαστημικά μας τηλεσκόπια που χαρτογραφούν με όλο και μεγαλύτερη ακρίβεια το αχανές Διάστημα, αλλά και με την βοήθεια αριθμητικών προσομοιώσεων σε πανίσχυρους υπερυπολογιστές, γνωρίζουμε ότι αυτές οι δομές θυμίζουν κάπως ένα είδος «κοσμικού αφρού». Πρόκειται δηλαδή για ένα αχανές σύμπλεγμα από γιγαντιαίες «φουσαλίδες», που περιέχουν ελάχιστους ή και καθόλου γαλαξίες, η επιφάνεια των οποίων καλύπτεται από ένα εξίσου αχανές «δίκτυο» νηματοειδών δομών σκοτεινής ύλης. Οι νηματοειδείς αυτές δομές «συνδέουν» μεταξύ τους τα γαλαξιακά σμήνη και υπερσμήνη, τα οποία εμφανίζονται διάσπαρτα ως «κόμβοι» συσσωρευμένης μάζας. Με την συνδρομή της σκοτεινής ύλης, δηλαδή, οι πρώτες φωτεινές δομές στο Σύμπαν επηρεάζουν καίρια τον σχηματισμό των πρώτων γαλαξιών, αποτελώντας την πρώτη «σπορά», απ' την οποία αρχίζουν να «φύονται» όλο και πιο σύνθετες και εκτεταμένες δομές.

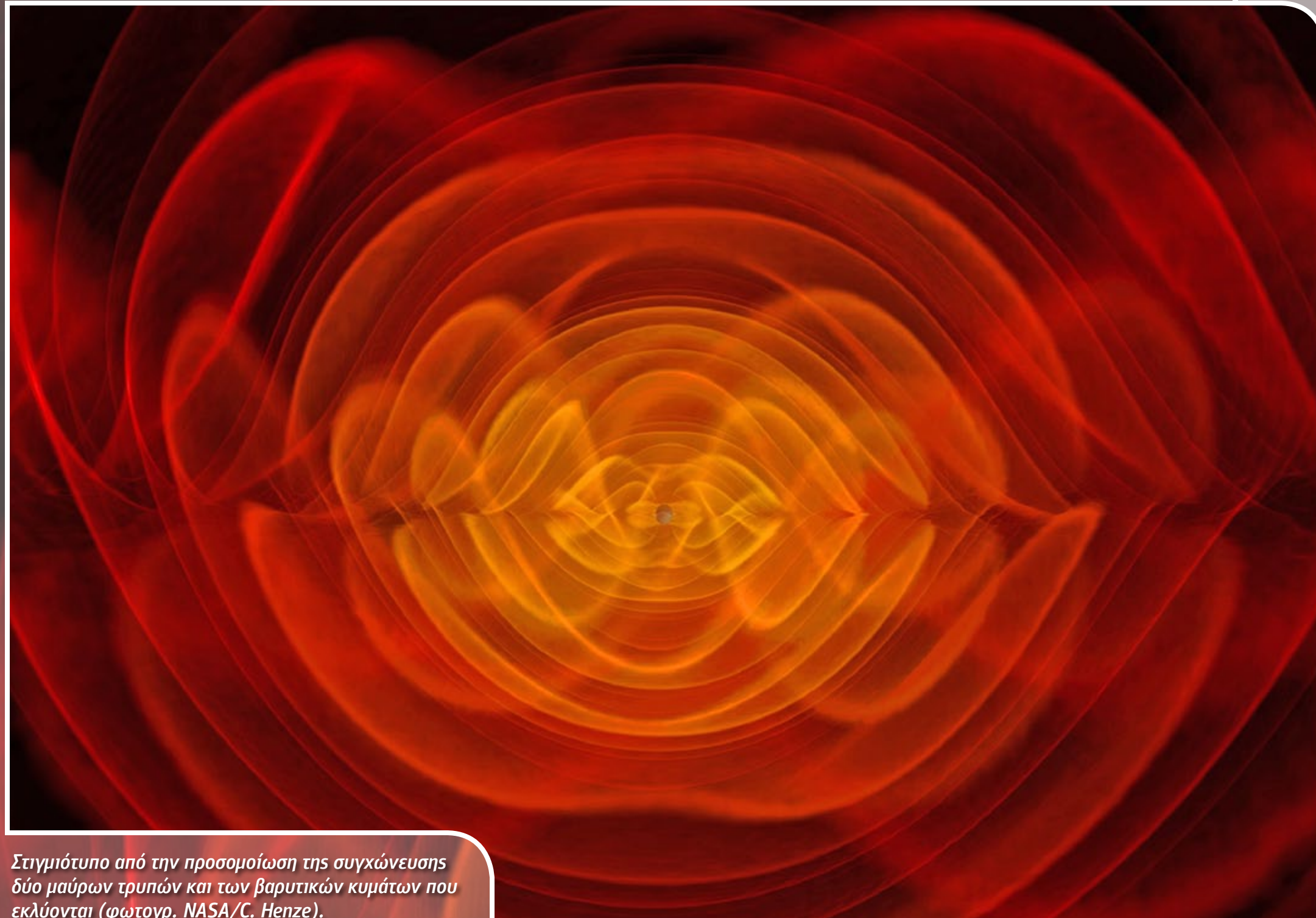
Πραγματικά, οι περισσότεροι αστρονόμοι θεωρούν σήμερα ότι οι δομές μικρής και μεγάλης κλίμακας «χτίζονται» ιεραρχικά: τα άστρα σχηματίζουν γαλαξίες, οι γαλαξίες οργανώνονται σε ομάδες και σμήνη, που με τη σειρά τους συγκροτούν υπερσμήνη και νηματοειδείς δομές σκοτεινής και φωτεινής ύλης, οι οποίες χωρίζονται μεταξύ τους από τις τεράστιες και σχεδόν κενές από ύλη «φουσαλίδες» που προαναφέραμε. Σήμερα, μάλιστα, 13,8 δισ. χρόνια μετά την Μεγάλη

Έκρηξη και παρόλη την συνεχιζόμενη διαστολή του Σύμπαντος, οι φυσικοί μηχανισμοί που «χτίζουν» μεγαλύτερους γαλαξίες από μικρότερους συνεχίζεται. Φυσικά, προκειμένου να συμβαίνει αυτό, θα πρέπει η βαρύτητα να υπερισχύει «τοπικά» της κοσμικής διαστολής, όπως εικάζεται ότι συμβαίνει και στην ευρύτερη διαστημική μας γειτονιά. Αυτός είναι ο λόγος εξάλλου που ο γιγάντιος σπειροειδής γαλαξίας της Ανδρομέδας θα συγκρουστεί, όπως υπολογίζουν οι αστρονόμοι, με τον Γαλαξία μας σε περίπου 4 δισεκ. χρόνια, σχηματίζοντας έναν πραγματικά τεράστιο ελλειπτικό γαλαξία.

Εκτός, όμως, απ' όσα αναφέραμε ως τώρα, τα δεδομένα του νέου τηλεσκοπίου θα βοηθήσουν τους αστρονόμους να διεκδικούν τις γνώσεις τους για τον σχηματισμό και τα πρώτα στάδια της εξέλιξης των άστρων και των πλανητικών συστημάτων εν γένει. Παρόλο που οι γνώσεις μας σ' αυτούς τους τομείς έρευνας έχουν διευρυνθεί

εντυπωσιακά τα τελευταία 50 χρόνια, ακόμη και σήμερα εξακολουθούμε να αγνοούμε τον ακριβή τρόπο με τον οποίο τα νέφη αερίων και σκόνης καταρρέουν για να σχηματίσουν νέα άστρα, ή γιατί τα περισσότερα άστρα σχηματίζονται σε ομάδες. Εξίσου περιορισμένες είναι και οι γνώσεις μας για τον ακριβή μηχανισμό σχηματισμού πλανητών, οι οποίες μπορούν να διευκυνθούν περαιτέρω μόνο με την βοήθεια ενός υπέρυθρου τηλεσκοπίου όπως αυτό, αφού μόνο μ' αυτόν τον τρόπο μπορούμε να «δεισδύσουμε» στα νέφη αερίων και σκόνης, όπου γεννιούνται τα νέα άστρα και σχηματίζονται τα νέα πλανητικά συστήματα. Το διαστημικό τηλεσκόπιο James Webb, τέλος, θα συμβάλει στην προσπάθεια των αστρονόμων να εντοπιστούν εξωπλανήτες, οι οποίοι περιφέρονται στην κατοικήσιμη ζώνη του άστρου τους, όπου οι συνθήκες είναι τέτοιες, ώστε να επιτρέπουν την ύπαρξη νερού σε υγρή μορφή και, ίσως ακόμα και την εμφάνιση ζωής ◀

Οι γαλαξιακές συγκρούσεις διαρκούν εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια μέχρι να ολοκληρωθούν. Στην εικόνα διακρίνονται οι γαλαξίες «Κεραίες» (φωτογρ. ESA/Hubble & NASA).



Στιγμιότυπο από την προσομοίωση της συγχώνευσης δύο μαύρων τρυπών και των βαρυτικών κυμάτων που εκλύονται (φωτογρ. NASA/C. Henze).

6. Ανιχνευτές Νετρίνων και Βαρυτικών Κυμάτων

Σχεδόν όλες οι αστρονομικές παρατηρήσεις, από τη διαστημική μας γειτονιά μέχρι τα πέρατα του Σύμπαντος, βασίζονται στον εντοπισμό και στην καταγραφή κάποιας μορφής **ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας**. Ορισμένες πληροφορίες, όμως, προέρχονται και από την ανίχνευση της κοσμικής ακτινοβολίας, η οποία αποτελείται κυρίως από υψηλής ενέργειας πρωτόνια. Δυστυχώς, επειδή τα πρωτόνια έχουν ηλεκτρικό φορτίο, είναι ιδιαίτερα δύσκολο να εντοπίσουμε την πηγή της προέλευσής τους. Αυτό συμβαίνει διότι μόνο εκείνα που προέρχονται από μικρές σχετικά αποστάσεις και έχουν τις υψηλότερες ενέργειες, παραμένουν σχεδόν ανεπηρέαστα από τα μαγνητικά πεδία του Γαλαξία μας, χωρίς να παρεκκλίνουν από το διαστημικό τους ταξίδι. Είναι λοιπόν δυνατό να «δούμε» το Σύμπαν με άλλα «μάτια» και να συλλέξουμε πληροφορίες, οι οποίες δεν μεταδίδονται ούτε με την ηλεκτρομαγνητική, αλλά ούτε και με την κοσμική ακτινοβολία;



Θεωρητικά τουλάχιστον, ναι. Την συναρπαστική αυτή δυνατότητα μας την προσφέρουν τα νετρίνα και τα βαρυτικά κύματα. Τα **νετρίνα** είναι παράξενα σωματίδια με ουδέτερο ηλεκτρικό φορτίο και απειροελάχιστη μάζα. Σύμφωνα με τη θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης, τα νετρίνα σχηματίστηκαν σε τεράστιες ποσότητες στα πρώτα στάδια εξέλιξης του «νεογέννητου» Σύμπαντος, ενώ ακόμη και σήμερα σημαντικές ποσότητες νετρίνων απελευθερώνονται κατά την διάρκεια των αστρικών εκρήξεων. Η ιδιότητά τους αυτή να μην αλληλεπιδρούν, παρά μόνο «φευγαλέα» με την ύλη που μας περιβάλλει, τα καθιστά ιδανικά εάν θέλουμε να ανοίξουμε ένα ακόμη παράθυρο μελέτης στο Σύμπαν. Έχοντας απειροελάχιστη μάζα και μηδενικό φορτίο, τα σωματίδια αυτά «αισθάνονται» μόνο τις ασθενείς πυρηνικές και τις βαρυτικές αλληλεπιδράσεις και γι' αυτό μπορούν να μεταφέρουν αναλλοίωτες τις πληροφορίες που έχουν αποτυπωθεί πάνω τους για τις φυσικές διεργασίες και τα κοσμικά φαινόμενα μέσα από τα οποία «γεννήθηκαν». Το γεγονός αυτό μας επιτρέπει, θεωρητικά τουλάχιστον, να διεισδύσουμε ακόμη και σε εποχές προγενέστερες της απελευθέρωσης της ακτινοβολίας υποβάθρου, στην οποία αναφερθήκαμε νωρίτερα. Γι' αυτό και η έρευνα για την κατασκευή ενός τηλεσκοπίου νετρίνων είναι σήμερα ένας από τους πλέον δραστήριους και ενεργούς τομείς έρευνας διεθνώς, στον οποίο μάλιστα συμμετέχει και η χώρα μας.

Η «ιστορία» των νετρίνων ξεκίνησε περίπου το 1930, σε μια εποχή κατά την οποία οι επιστήμονες μελετούσαν τη **ραδιενεργό διάσπαση β**,

τη μετατροπή δηλαδή του νετρονίου στον πυρήνα των ατόμων σε πρωτόνιο, με την παράλληλη εκπομπή ενός ηλεκτρονίου. Το ιδιαίτερα «ενοχλητικό» στοιχείο αυτής της διάσπασης ήταν ότι παραβίαζε, όπως νόμιζαν τότε οι φυσικοί, την «ιερή» γι' αυτούς Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας, καθώς τα πειράματά τους έδειχναν ότι η ολική ενέργεια πριν τη διάσπαση του ατομικού πυρήνα ήταν μεγαλύτερη από την ολική ενέργεια μετά τη διάσπαση. Την ευφυή λύση έδωσε ο μεγάλος θεωρητικός φυσικός **Wolfgang Pauli** (1900–1958), ο οποίος υποστήριξε ότι αυτή η «χαμένη» ενέργεια μεταφέρεται από ένα ουδέτερο σωματίδιο, που ήταν αδύνατο να ανιχνευτεί με την τεχνολογία της εποχής του. Το υποθετικό αυτό σωματίδιο ονομάστηκε αργότερα νετρίνο και η ύπαρξή του επιβεβαιώθηκε το 1956 χάρη

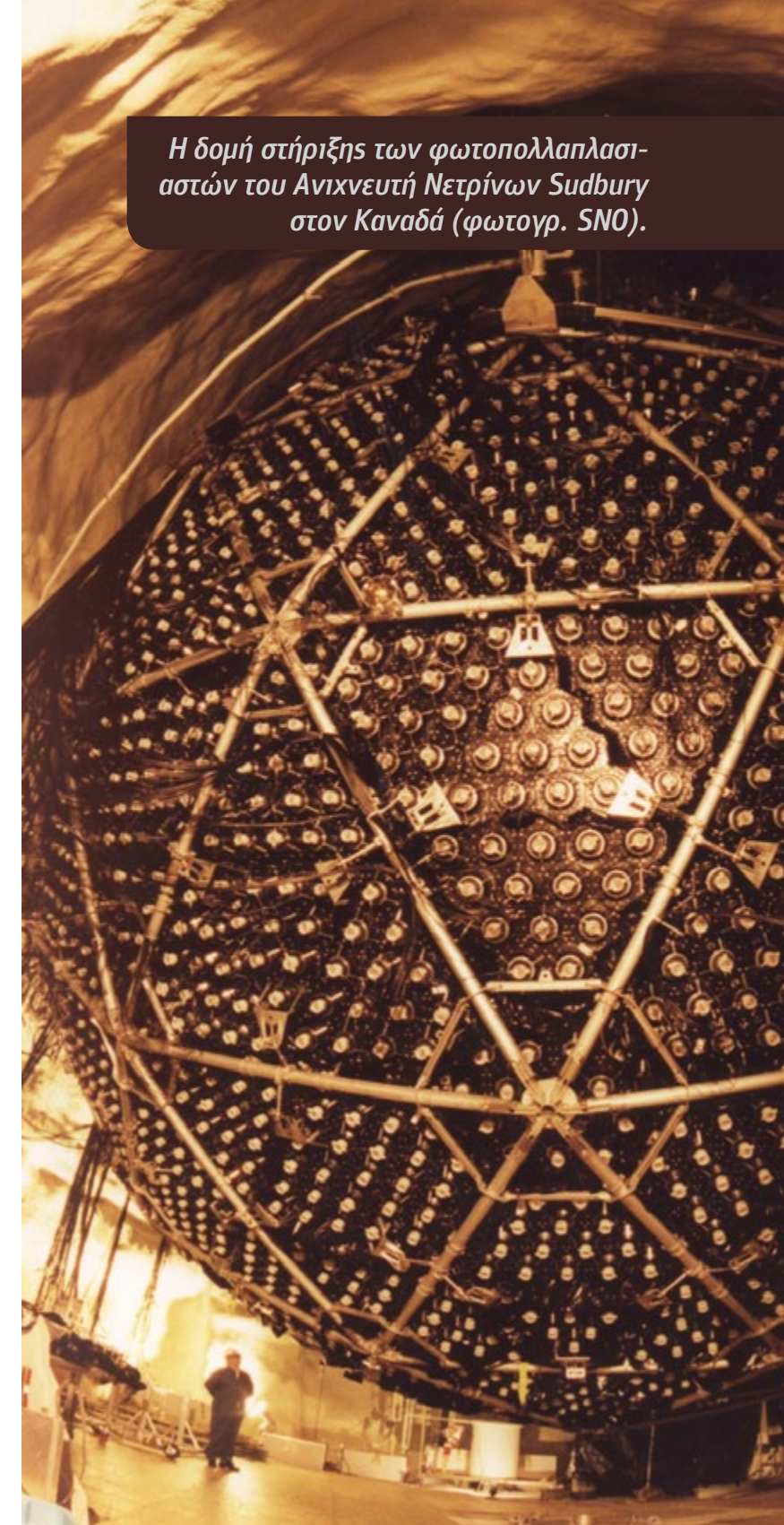


Ο θεωρητικός φυσικός **Wolfgang Pauli**.

στα πειράματα των **Clyde Cowan** (1919–1974) και **Fredrick Reines** (1918–1998).

Στα χρόνια που μεσολάβησαν, οι γνώσεις μας γι' αυτό το φευγαλέο σωματίδιο-φάντασμα αυξήθηκαν σημαντικά. Γνωρίζουμε, για παράδειγμα, ότι τα νετρίνα συγκαταλέγονται ανάμεσα στα στοιχειώδη σωματίδια, από τα οποία αποτελείται η ύλη που εμπεριέχει το Σύμπαν στο πιο θεμελιώδες της επίπεδο. Για λόγους που δεν θα διερευνήσουμε περαιτέρω, γνωρίζουμε ακόμα ότι τα νετρίνα διαθέτουν απειροελάχιστη μάζα και ως εκ τούτου ότι αλληλεπιδρούν και με την ασθενέστερη απ' όλες τις αλληλεπιδράσεις της φύσης, δηλαδή τη βαρύτητα. Καθώς διαβάζετε αυτές τις γραμμές, δισεκατομμύρια νετρίνα διαπερνούν το σώμα σας, προτού διασχίσουν και αυτόν ακόμη τον πλανήτη μας, συνεχίζοντας το διαστημικό τους ταξίδι ανεπηρέαστα. Αυτή η σχεδόν ολοκληρωτική αδυναμία των νετρίνων να αλληλεπιδράσουν με τη συνηθισμένη ύλη, παρά μόνο μέσω της ασθενούς και της βαρυτικής αλληλεπίδρασης, καθιστά την ανίχνευσή τους ιδιαίτερα δύσκολη. Γι' αυτόν τον λόγο οι ανιχνευτές νετρίνων πρέπει αναγκαστικά να καταλαμβάνουν πολύ μεγάλο όγκο, προκειμένου να τα ανιχνεύσουν. Το δεύτερο πρόβλημα που καθιστά δύσκολη την ανίχνευση των νετρίνων οφείλεται στην αλληλεπίδραση της κοσμικής ακτινοβολίας με τα σωματίδια που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα, μέσω της οποίας απελευθερώνονται πολλά άλλα σωματίδια, που «τυφλώνουν» τους ανιχνευτές νετρίνων. Γι' αυτό και κατά κανόνα οι ανιχνευτές νετρίνων κατασκευάζονται βαθιά στο υπέδαφος, μέσα σε εγκα-

Η δομή στήριξης των φωτοπολλαπλασιαστών του Ανιχνευτή Νετρίνων Sudbury στον Καναδά (φωτογρ. SNO).



ταλειμμένα ορυχεία, ώστε τα πετρώματα που τους περιβάλλουν να λειτουργούν ως ασπίδα, «φιλτράροντας» τα σωματίδια αυτά.

Όπως συνειδητοποιήσαν οι επιστήμονες, τα προβλήματα αυτά θα μπορούσαν να αντιμετωπιστούν και με την κατασκευή ανιχνευτών νετρίνων βαθιά κάτω από τη θάλασσα, καθώς ο τεράστιος όγκος νερού που θα περιέβαλλε τον ανιχνευτή, θα περιόριζε στο ελάχιστο τον συνεχή «θόρυβο» από τα ανεπιθύμητα σωματίδια των κοσμικών ακτίνων. Η εγκατάσταση των γιγάντιων αυτών τηλεσκοπίων σε τόσο μεγάλα βάθη αποτελεί τεράστια επιστημονική και τεχνολογική πρόκληση. Γι' αυτό και σ' αυτήν τη φάση το ενδιαφέρον στρέφεται κυρίως στην ανάπτυξη της απαραίτητης τεχνολογίας με την κατασκευή και την πόντιση πολύ μικρότερων, πειραματικών τηλεσκοπίων νετρίνων. Τα κυριότερα απ' αυτά είναι τα εξής: BAIKAL, στη βαθύτερη λίμνη της Γης στη Σιβηρία, AMANDA και ο διάδοχός του IceCube, στους πάγους της Ανταρκτικής, ANTARES, στη Γαλλία, NEMO, στα ανοικτά της Σικελίας και NESTOR, κοντά στην περιοχή, όπου βρίσκεται το επονομαζόμενο Φρέαρ των Οινουσσών, το βαθύτερο σημείο της Μεσογείου, λίγα χιλιόμετρα έξω από την Πύλο. Τελικός στόχος όλων αυτών των προσπαθειών είναι η κατασκευή ενός υποβρύχιου τηλεσκοπίου νετρίνων με όγκο 1 km³.

Τα **βαρυτικά κύματα**, από την άλλη, είναι διαταραχές ή διακυμάνσεις στον ίδιο τον ιστό του χωροχρόνου, οι οποίες διαδίδονται με την ταχύτητα του φωτός και αποτελούν μία από τις πλέον εντυπωσιακές προβλέψεις της **Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας**, στην οποία κατέληξε ο ίδιος ο Αϊνστάιν ελάχιστους μόνο μήνες μετά τη δημοσίευση της νέας του θεωρίας για τη βαρύτητα. Μέσα σε αυτό το νέο θεωρητικό πλαίσιο, ο χώρος και ο χρόνος παύουν πλέον να είναι εκείνες οι απόλυτες και «άκαμπτες» δομές της κλασικής νευτώνειας φυσικής, μέσα στις οποίες υλοποιούνται, ανεπηρέαστα απ' αυτές, τα φυσικά φαινόμενα, και η βαρύτητα παύει να είναι απλά αυτή η μυστηριώδης δύναμη που έλκει ένα σώμα, δρώντας ακαριαία από απόσταση. Αντίθετα, μέσα από μια σειρά πολύπλοκων και ιδιαίτερα δύσκολων στην επίλυσή τους εξισώσεων, ο Αϊνστάιν περιγράφει τη βαρύτητα ως τη

στρέβλωση που προκαλεί η παρουσία της ύλης στη δομή του τετραδιάστατου χωροχρόνου. Και ο χωροχρόνος, δυναμικός πλέον και όχι απόλυτος, καθορίζει με τη σειρά του την τροχιά κάθε αντικειμένου, που κινείται εντός του, από αυτόν ακριβώς τον βαθμό της καμπύλωσής του. Όπως το έθεσε αρκετά χρόνια αργότερα ο φυσικός **John Wheeler** (1911–2008), *η ύλη υπαγορεύει στον χωροχρόνο πώς θα καμπυλωθεί και ο βαθμός καμπύλωσης του χωροχρόνου υπαγορεύει στην ύλη πώς θα κινηθεί*.

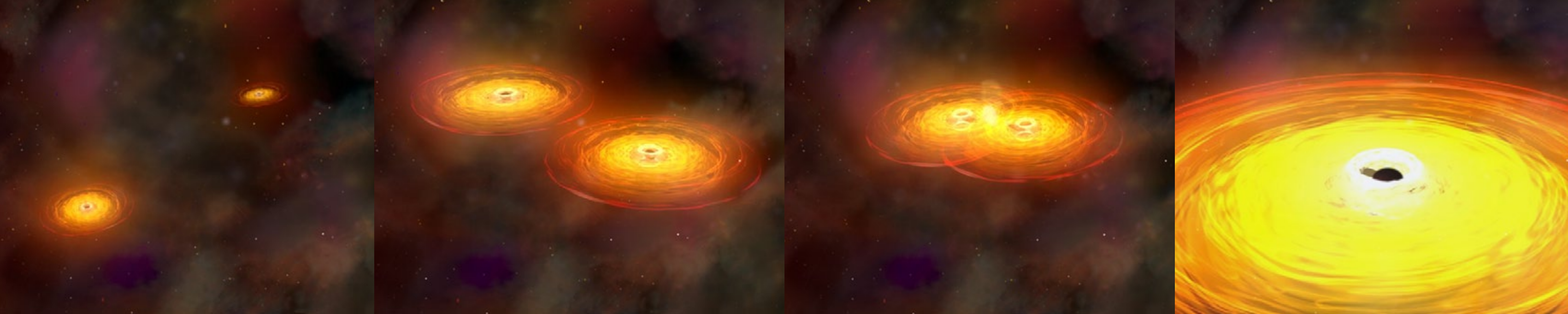
Σύμφωνα λοιπόν με τον Αϊνστάιν, τα βαρυτικά κύματα είναι διαταραχές ή διακυμάνσεις στον ίδιο τον ιστό του χωροχρόνου, οι οποίες διαδίδονται στο Διάστημα κατά τρόπο ανάλογο περίπου με τους κυματισμούς που δημιουργούνται όταν πετάξουμε ένα βότσαλο μέσα σε μια λίμνη. Σχεδόν κάθε μεταβολή στη κινητική κατάσταση ενός ουράνιου σώματος (εκτός δηλ. από

την περίπτωση που η μεταβολή αυτή είναι σφαιρικά συμμετρική) θα αφήσει το «αποτύπωμά» της στον χωροχρόνο με τη μορφή ενός βαρυτικού κύματος. Το κύμα αυτό απομακρύνεται από την «πηγή» του, μεταβάλλοντας με συγκεκριμένο και ρυθμικό τρόπο (επιμήκυνση σε μία διεύθυνση και συρρίκνωση κατά την κάθετη διεύθυνση) τις αποστάσεις μεταξύ κάθε ελεύθερου σώματος σε ένα επίπεδο κάθετο στη διεύθυνση διάδοσής του.

Προκειμένου να οπτικοποιήσουμε όσο είναι δυνατό αυτές τις ταλαντώσεις της ύλης που προκαλούνται από τα βαρυτικά κύματα, ας υποθέσουμε αρχικά ότι παρατηρούμε από το πλάι ένα πλοίο που βρίσκεται στη θάλασσα και ότι μία σειρά από κύματα το προσεγγίζουν επίσης από το πλάι. Όταν η κορυφή ενός θαλάσσιου κύματος διέρχεται κάτω από το πλοίο, τότε το πλοίο «ανέρχεται» σε ένα μέγιστο ύψος, ενώ ακολούθως «κατέρχεται» σε ένα ελάχιστο, όταν ακριβώς από κάτω του βρίσκεται η «κοιλιά» του κύματος κ.ο.κ.. Σε κάθε περίπτωση όμως οι διαστάσεις του πλοίου παραμένουν αμετάβλητες. Εάν όμως, σε αυτό το «νοητικό» μας πείραμα αντικαθιστούσαμε τα θαλάσσια με τα βαρυτικά κύματα, θα βλέπαμε κάτι εντελώς διαφορετικό. Όταν, για παράδειγμα η «κορυφή» ενός βαρυτικού κύματος διερχόταν από το πλοίο, θα το «ξεχείλωνε», προκαλώντας επιμήκυνση στο μήκος του και ταυτόχρονη συρρίκνωση στο ύψος του. Στη συνέχεια, όταν η κοιλιά

Το IceCube στους πάγους της Ανταρκτικής (φωτογρ. Felipe Pedreros. IceCube/NSF).





Στιγμιότυπα από την προσομοίωση της σύγκρουσης δύο μαύρων τρυπών [φωτογρ. Animation: NASA/CXC/A. Hobart, Simulation: Josh Barnes (U. of Hawaii)/John Hibbard (NRAO)].

του βαρυτικού κύματος διερχόταν από το πλοίο, θα προκαλούσε την αντίθετη μεταβολή, δηλαδή συρρίκνωση στο μήκος του και επιμήκυνση στο ύψος του. Με δυο λόγια, εκείνες οι διαστάσεις του πλοίου, οι οποίες είναι κατακόρυφες στην διεύθυνση διάδοσης του βαρυτικού κύματος θα μεταβάλλονταν περιοδικά. Καθώς, όμως, ένα βαρυτικό κύμα διαδίδεται στον χωροχρονικό ιστό του Σύμπαντος, όσο περισσότερο απομακρύνεται από την φυσική αιτία που το δημιούργησε, τόσο περισσότερο εξασθενεί και τόσο περισσότερο ελαχιστοποιούνται οι ταλαντώσεις που προκαλεί στην ύλη.

Διπλά αστρικά συστήματα, συγκρούσεις αστέρων νετρονίων και συγχωνεύσεις μαύρων τρυπών αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα φαινομένων που, όπως πιστεύουν οι επιστή-

μονες, μπορούν να δημιουργήσουν βαρυτικά κύματα, τα οποία διαδίδονται από το σημείο σχηματισμού τους με ταχύτητα που, απ' ό,τι φαίνεται, είναι ίση με την ταχύτητα του φωτός. Όμως, παρόλο που τα βαρυτικά κύματα προκαλούνται από ορισμένα από τα βιαιότερα φαινόμενα του Σύμπαντος, η αλληλεπίδρασή τους με την ύλη είναι τόσο ασθενής ώστε, εάν διέρχονταν από το Ηλιακό μας Σύστημα, θα μετέβαλλαν την απόσταση της Γης από τη Σελήνη λιγότερο από τη διάμετρο ενός ατόμου. Αυτό το γεγονός αποδεικνύει και πόσο δύσκολο είναι να ανιχνευτούν. Και όμως, τον Μάρτιο του 2014, η επιστημονική ομάδα του τηλεσκοπίου **BICEP2**, που βρίσκεται στην Ανταρκτική, ανακοίνωσε ότι είχε καταφέρει να ανιχνεύσει την «υπογραφή» αρχέγονων βαρυτικών κυμάτων. Τα κύματα αυτά

εικάζεται ότι δημιουργήθηκαν στην επονομαζόμενη **Εποχή του Πληθωρισμού**, την εποχή δηλαδή κατά την οποία το νεογέννητο Σύμπαν διεστάλη σχεδόν στιγμιαία μ' έναν ραγδαίο, εκθετικό ρυθμό. Μετέπειτα έρευνες όμως με την βοήθεια και άλλων τηλεσκοπίων, όπως του διαστημικού τηλεσκοπίου Planck, διέψευσαν αυτό το αποτέλεσμα, φέρνοντας στον νου για μια ακόμη φορά τον γνωστό αφορισμό του μεγάλου αστρονόμου και εκλαϊκευτή της επιστήμης **Carl Sagan** (1934–1996): «εξαιρετικοί ισχυρισμοί απαιτούν και εξαιρετικές αποδείξεις».

Παρόλα αυτά, υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις για την ύπαρξη των βαρυτικών κυμάτων. Η ισχυρότερη ίσως προέκυψε το 1974 με την ανακάλυψη ενός παράξενου αστρικού συστήματος από τους αμερικανούς αστροφυσικούς **Russel Hulse** (1950–)

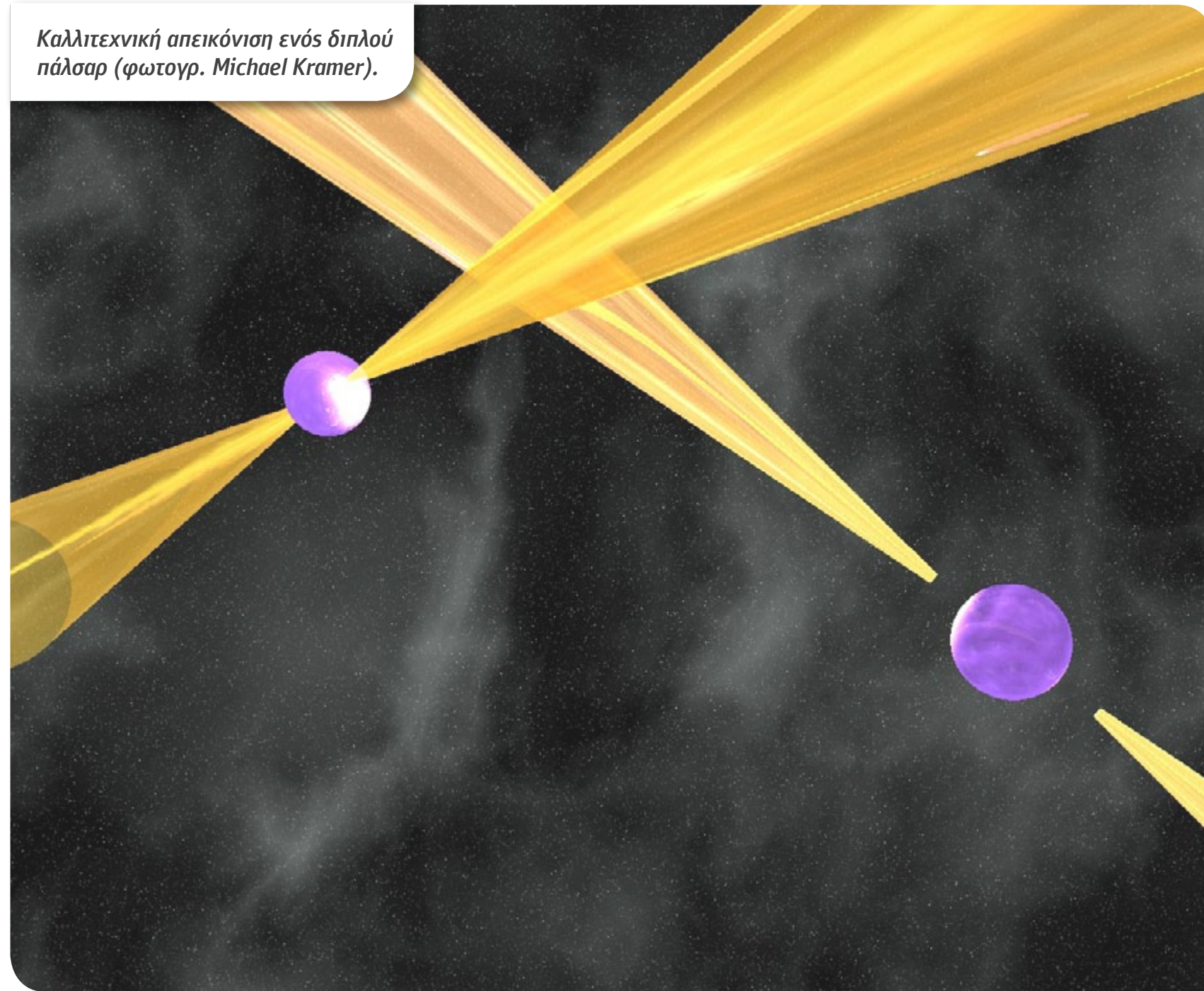
και **Joseph Taylor** (1941–), οι οποίοι μάλιστα για την ανακάλυψή τους αυτή τιμήθηκαν το 1993 με το Νόμπελ Φυσικής. Με τη βοήθεια του γιγάντιου ραδιοτηλεσκοπίου Arecibo στο Πόρτο Ρίκο οι δύο επιστήμονες διαπίστωσαν ότι το σύστημα αυτό αποτελείται από έναν πάλσαρ και από έναν αστέρα νετρονίων, οι οποίοι στροβιλίζονται γύρω από το κοινό κέντρο βάρους τους. Οι **πάλσαρ** είναι ταχύτατα περιστρεφόμενοι αστέρες νετρονίων με πανίσχυρο μαγνητικό πεδίο, οι οποίοι εκπέμπουν από τους μαγνητικούς τους πόλους στενές δέσμες ακτινοβολίας. Καθώς ένας πάλσαρ περιστρέφεται γύρω από τον εαυτό του, οι δύο κώνοι ακτινοβολίας που εκπέμπει σαρώνουν το Διάστημα, ακριβώς όπως και το περιστρεφόμενο «μάτι» ενός φάρου. Όταν η ακτινοβολία αυτή σαρώνει στο πέρασμά της τη Γη, την αντιλαμβανό-

μαστε ως μια παλλόμενη πηγή ακτινοβολίας που αναβοσβήνει. Αυτός ο πάλσαρ των Hulse-Taylor, όπως είναι σήμερα γνωστός, έδωσε στους επιστήμονες ένα μοναδικό «εργαστήριο», με την βοήθεια του οποίου μπορούσαν πλέον να ελέγξουν συγκεκριμένες προβλέψεις της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας.

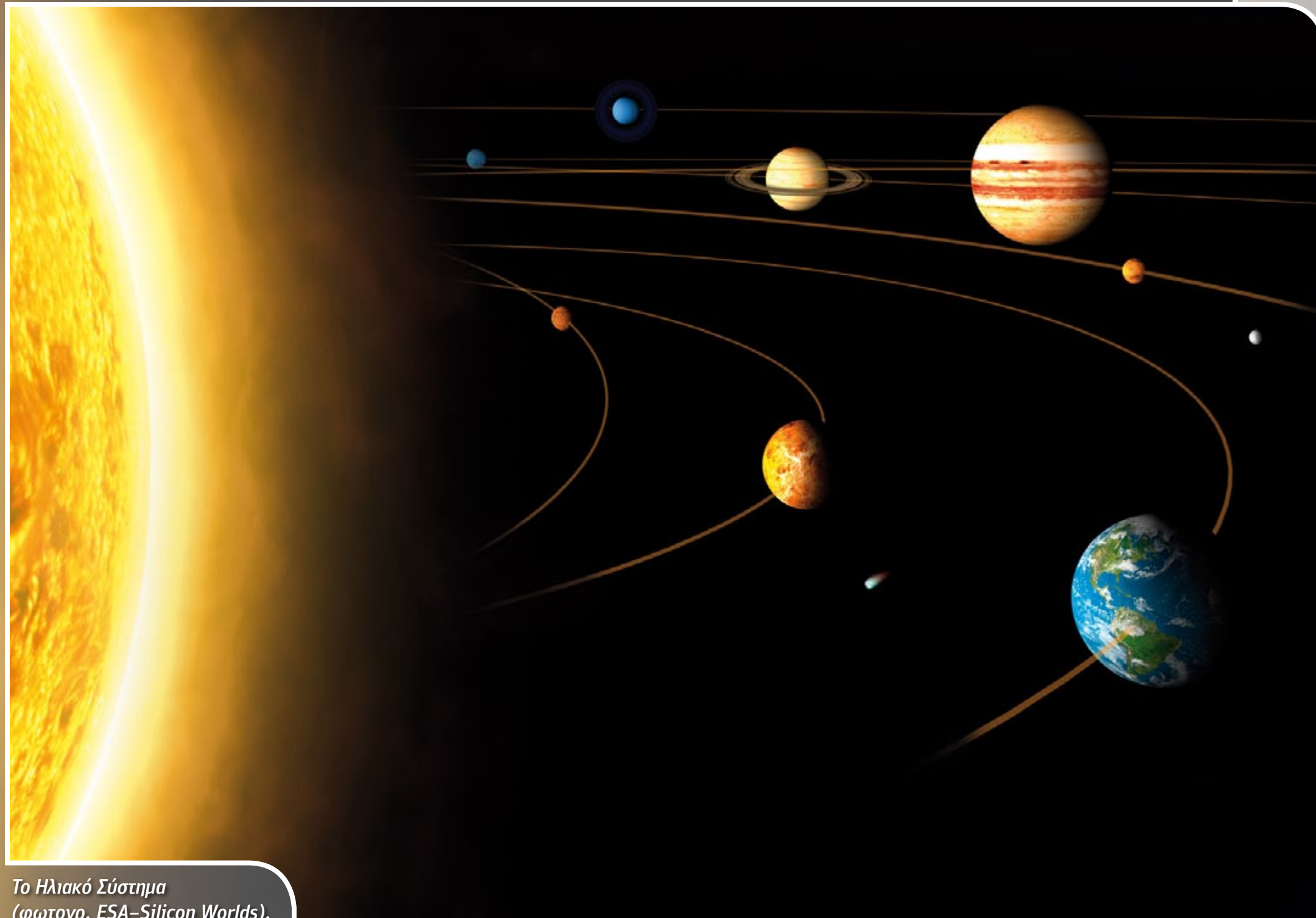
Η συστηματική του παρακολούθηση τα χρόνια που ακολούθησαν, οδήγησε τους αστρονόμους στο εντυπωσιακό συμπέρασμα ότι τα δύο αυτά ουράνια σώματα περιφέρονται με όλο και μεγαλύτερη ταχύτητα το ένα γύρω από το άλλο, καθώς αργά αλλά σταθερά η μέση απόστασή τους μειώνεται, ώσπου εντέλει θα συγκρουστούν σε περίπου 300 εκατομμύρια χρόνια. Γιατί όμως συμβαίνει αυτό; Σύμφωνα με τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, όταν ένα διπλό αστρικό σύστημα εκπέμπει βαρυτικά κύματα, αποβάλλει ενέργεια, με αποτέλεσμα η τροχιά του να συρρικνώνεται και κατά συνέπεια η περίοδός της να μειώνεται. Οι μεταβολές αυτές, αν και ελάχιστες, έχουν ήδη μετρηθεί και αντιστοιχούν με μεγάλη ακρίβεια στις τιμές που προβλέπει η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, γεγονός που αποτελεί μια ισχυρή, αλλά παρόλα αυτά έμμεση ένδειξη ότι τα βαρυτικά κύματα που προέβλεψε ο Αϊνστάιν όντως υπάρχουν.

Γιγάντιοι ανιχνευτές βαρυτικών κυμάτων, όπως ο γαλλοϊταλικός VIRGO και ο αμερικανικός LIGO, έχουν ήδη τεθεί σε λειτουργία. Επιπλέον, μία από τις βασικές προτεραιότητες του ESA και της NASA, τουλάχιστον μέχρι πρόσφατα, ήταν να μεταφερθεί η αναζήτηση των βαρυτικών κυ-

Καλλιτεχνική απεικόνιση ενός διπλού πάλσαρ (φωτογρ. Michael Kramer).



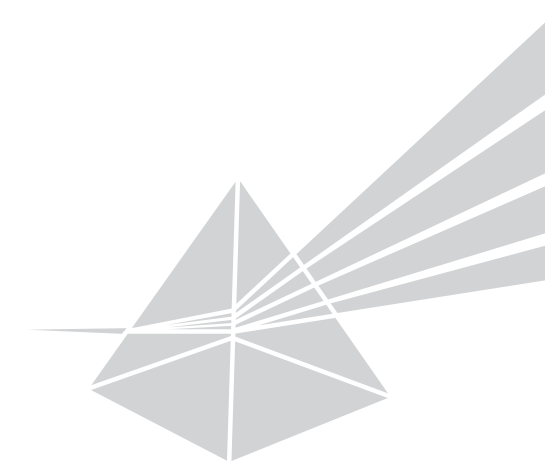
μάτων και στο Διάστημα, με την υλοποίηση της διαστημικής αποστολής **LISA**. Η αποστολή αυτή θα προσπαθούσε να ανιχνεύσει βαρυτικά κύματα, καταγράφοντας συστηματικά και με μεγάλη ακρίβεια την απόσταση μεταξύ τριών πανομοιότυπων διαστημοσυσκευών, τοποθετημένων σε τροχιά γύρω από τον Ήλιο, με τρόπο που να σχηματίζουν ένα ισόπλευρο τρίγωνο πλευράς 5 εκατ. km. Οι τεχνολογικές προκλήσεις του συγκεκριμένου εγχειρήματος είναι πολύ μεγάλες, ενώ με δεδομένη τη διεθνή οικονομική συγκυρία, η μελλοντική υλοποίηση αυτού του προγράμματος είναι τουλάχιστον αβέβαιη, καθώς η NASA δήλωσε ότι αποσύρεται απ' τη χρηματοδότησή του. Το γεγονός αυτό εξανάγκασε και τον ESA να ξεκινήσει τη μελέτη υλοποίησης ενός οικονομικότερου διαστημικού προγράμματος ανίχνευσης βαρυτικών κυμάτων. Όπως, μάλιστα, ανακοίνωσε ο ESA τον Δεκέμβριο του 2013, η μία από τις δύο διαστημικές αποστολές μεγάλης κλίμακας, που θα πραγματοποιηθούν τις 2 επόμενες δεκαετίες, θα αφορά στην κατασκευή ενός διαστημικού αστεροσκοπίου για την ανίχνευση βαρυτικών κυμάτων. Κατά πάσα πιθανότητα, αυτό θα σχεδιαστεί στα πρότυπα της LISA και δεν αναμένεται να εκτοξευθεί νωρίτερα από το 2034. Η εποχή της Αστρονομίας των Νετρίνων και της Αστρονομίας των Βαρυτικών Κυμάτων έχει ήδη ανατείλει και μελλοντικά θα επιτρέψει στους αστρονόμους να συλλέξουν πληροφορίες για τα βίαια φαινόμενα του Σύμπαντος ή για το αρχέγονο παρελθόν του, που η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αδυνατεί, από τη φύση της, να μας μεταφέρει ◀



Το Ηλιακό Σύστημα
(φωτογρ. ESA-Silicon Worlds).

7. Η Εξερεύνηση του Ηλιακού Συστήματος

Η αστρονομική έρευνα δεν διεξάγεται μόνο με την βοήθεια των τηλεσκοπίων, αφού οι διαστημοσυσκευές που εκτοξεύσαμε μέχρι τα πέρατα του Ηλιακού μας Συστήματος, έχουν ήδη εξερευνήσει πολλούς από τους παράξενους κόσμους που εμπεριέχει. Χωρίς, όμως, τον Αγγελιοφόρο του Σύμπαντος, η επικοινωνία μας μ' αυτές, δηλαδή η αποστολή εντολών από την Γη και η λήψη των δεδομένων που συλλέγουν με την βοήθεια ραδιοκυμάτων, θα ήταν αδύνατη. Καθοριστικό ρόλο σ' αυτές τις διαστημικές επικοινωνίες διαδραματίζει το **Δίκτυο Βαθέος Διαστήματος** (Deep Space Network) της NASA, καθώς και το Ευρωπαϊκό **ESTRACK** του ESA.



Το Δίκτυο Βαθέος Διαστήματος (**DSN**) της NASA είναι ίσως το μεγαλύτερο και πλέον σύγχρονο παγκόσμιο σύστημα επιστημονικών τηλεπικοινωνιών του κόσμου και βρίσκεται εγκατεστημένο σε τρεις σταθμούς επικοινωνίας, στο Γκόλντστοουν της Καλιφόρνια, έξω από την Μαδρίτη και κοντά στην Καμπέρα της Αυστραλίας. Εκτός, φυσικά, από την επικοινωνία που μας εξασφαλίζει με τις διάφορες διαστημικές αποστολές εξερεύνησης του Ηλιακού Συστήματος, το Δίκτυο αυτό χρησιμοποιείται και για την παρακολούθηση συγκεκριμένων δορυφόρων που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τον πλανήτη μας, καθώς και για την διεξαγωγή ραδιοαστρονομικών παρατηρήσεων.

Προκειμένου το DSN να παρέχει συνεχή επικοινωνία με τις δεκάδες διαστημοσυσσκευές που εξερευνούν το Ηλιακό Σύστημα, οι τρεις επίγειοι σταθμοί που το απαρτίζουν είναι εγκατεστημένοι σε τοποθεσίες που απέχουν περίπου 120 μίρες η μία μακριά από την άλλη ως προς το γεωγραφικό μήκος. Μ' αυτόν τον τρόπο επιτρέπουν την αδιάκοπη παρακολούθησή τους, παρόλη την 24ωρη περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονά της. Έτσι, όταν εξαιτίας της περιστροφής της Γης ο πρώτος σταθμός χάσει την επαφή του με κάποια διαστημοσυσσκευή, αναλαμβάνει ο δεύτερος και στην συνέχεια ο τρίτος κ.ο.κ.. Οι σταθμοί αυτοί έχουν εγκατασταθεί μακριά από πυκνοκατοικημένες περιοχές του πλανήτη, προκειμένου τα ασθενέστατα ραδιοσήματα των διαστημοσυσσκευών μας να μην πνίγονται από τον «θόρυβο» και τις παρεμβολές των γραμμών ηλεκτρικής

τάσης, των ραδιοτηλεοπτικών σταθμών κ.ά.. Με την βοήθεια του DSN, αλλά και του Ευρωπαϊκού **ESTRACK** του ESA, οι επιστήμονες αποστέλλουν σε κωδικοποιημένη μορφή όλα τα απαραίτητα προγράμματα ελέγχου και πλοήγησης της κάθε διαστημοσυσσκευής, προκειμένου να την κατευθύνουν στον προορισμό της, αλλά και να την προγραμματίσουν, έτσι ώστε να αποστέλλει κατά τακτά χρονικά διαστήματα τα επιστημονικά δεδομένα που συλλέγει.

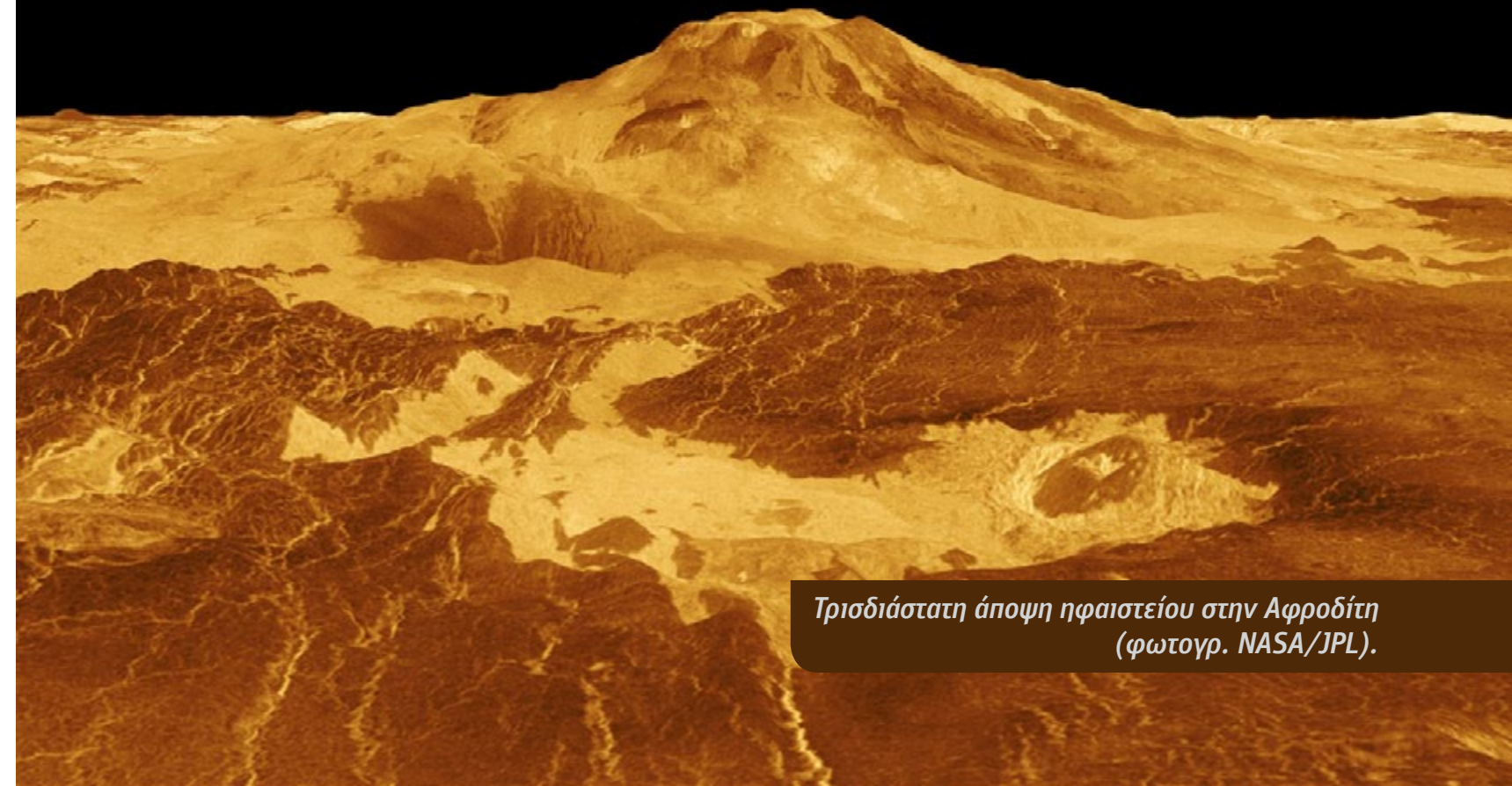
Από τους γειτονικούς μας πλανήτες Άρη και Αφροδίτη μέχρι τα εξώτατα όρια του Ηλιακού Συστήματος, τα οποία έχει ήδη διαβεί η διαστημοσυσσκευή Voyager 1, τα ραδιοσήματα που ανταλλάσσουμε με κάθε διαστημοσυσσκευή μας, κινούνται με την ταχύτητα του φωτός. Αυτό σημαίνει ότι, ανάλογα με την απόστασή τους, το σήμα τους χρειάζεται από μερικά λεπτά μέχρι αρκετές ώρες για να φτάσει σε μας. Φυσικά, είναι αδύνατο να παρουσιάσουμε εδώ, έστω και περιληπτικά, τις δεκάδες αποστολές που έχουμε στείλει στους πλανήτες και τα άλλα ουράνια σώματα του Ηλιακού μας Συστήματος. Γι' αυτό και στη συνέχεια θα εστιάσουμε σε ελάχιστες μόνο απ' αυτές.

Η **Αφροδίτη**, για παράδειγμα, είναι ο πλησιέστερος προς εμάς πλανήτης του Ηλιακού μας Συστήματος. Έχοντας αρκετά κοινά χαρακτηριστικά γνωρίσματα με τη Γη, όπως παραπλήσιο μέγεθος, μάζα και πυκνότητα, αλλά και συγκρίσιμη, τηρουμένων των αναλογιών, μέση απόσταση από τον Ήλιο, δεν είναι παράξενο που η Αφροδίτη

συχνά προσδιοριζόταν στο παρελθόν ως η «δίδυμη» αδελφή του πλανήτη μας. Και όμως, από την διαστημοσυσσκευή Mariner 2 (ΗΠΑ, 1962), τις 13 αποστολές Venera (πρώην Σοβιετική Ένωση, 1967-1983), τις επίσης ρωσικές Vega 1 & 2 (1985), τις αμερικάνικες Pioneer Venus 1 & 2 (1978-1992) μέχρι και τα δεδομένα που συνέλεξε η διαστημοσυσσκευή Cassini-Huygens (1998/99) στην πορεία της προς τον Κρόνο, η ανάλυση των αστρονομικών δεδομένων που μας έχουν στείλει οι αποστολές αυτές αναδεικνύουν μια εικόνα εντελώς διαφορετική. Πραγματικά, με τα πυκνά θειούχα νέφη που καλύπτουν την επιφάνειά της, με την υπέρπυκνη και γεμάτη δι-

οξειδίο του άνθρακα ατμόσφαιρά της και με επιφανειακή θερμοκρασία που αγγίζει τους 460 °C, η Αφροδίτη μοιάζει περισσότερο με την κόλαση του Δάντη. Η διαστημοσυσσκευή **Venus Express**, που εκτοξεύθηκε στις 9 Νοεμβρίου 2005 από το κοσμοδρόμιο Μπαϊκονούρ στο Καζακστάν, είναι η πρώτη ευρωπαϊκή αποστολή που σχεδίασε ο ESA με στόχο τη μελέτη της Αφροδίτης, αλλά και η τελευταία μέχρι στιγμής διεθνώς που σχεδιάστηκε γι' αυτόν τον σκοπό.

Η εξερεύνηση του **Άρη**, από την άλλη, ξεκίνησε το 1964 με τη διαστημοσυσσκευή **Mariner 4**. Όταν, όμως, στις 30 Μαΐου 1971 η διαστημοσυσ-



Τρισδιάστατη άποψη ηφαιστείου στην Αφροδίτη (φωτογρ. NASA/JPL).

σκευή Mariner 9 ξεκινούσε και αυτή το ταξίδι της με προορισμό τον Άρη, ελάχιστοι φαντάζονταν ότι λίγους μήνες αργότερα ο διαστημικός αυτός θαλασσοπόρος θα διεύρυνε τόσο σημαντικά τις γνώσεις μας για τον κόκκινο πλανήτη. Στην αποστολή του εκείνη το Mariner 9 φωτογράφησε, μεταξύ άλλων, το τεράστιο ηφαίστειο **Olympus Mons** και τον γιγάντιο κρατήρα **Ελλάς** που, με βάθος 8 και διάμετρο 2.300 km, θα μπορούσε να «καταπιεί» ολόκληρο σχεδόν το Έβερεστ. Πιο σημαντικό όμως απ' όλα είναι ότι κατέγραψε επίσης και τα αχανή και εντελώς απρόσμενα για πολλούς συστήματα φαραγγίων, κοιλάδων και καναλιών απορροής, που ήταν οι πρώτες σοβαρές ενδείξεις για την ύπαρξη νερού στον Άρη. Έκτοτε, οι γνώσεις μας για τον βραχώδη αυτόν πλανήτη αυξήθηκαν κατά πολύ.

Είναι γεγονός, όμως, ότι ο Άρης έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα «δύστροπος» στην προσπάθειά μας να τον εξερευνήσουμε, αφού οι μισές περίπου αποστολές που σχεδιάστηκαν για τον σκοπό αυτόν απέτυχαν. Τα τροχιακά, όμως, αστεροσκοπεία που περιφέρονται γύρω του, αλλά και τα ρομποτικά οχήματα που περιπλανώνται στην επιφάνειά του, έχουν ήδη ανακαλύψει τεράστιες ποσότητες πάγου κάτω από τους πόλους του. Πολύ περισσότερο, όλα τα δεδομένα που έχουμε συλλέξει ως τώρα καταδεικνύουν ότι στο απώτερο παρελθόν του ο κόκκινος πλανήτης διέθετε νερό σε υγρή μορφή.

Αν και ο Άρης είναι ένας μικρός σχετικά πλανήτης, τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της

επιφάνειάς του είναι ομολογουμένως εντυπωσιακά. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το τεράστιο ηφαίστειο **Olympus Mons**, το οποίο βρίσκεται στη δυτική άκρη ενός άλλου τοπογραφικού «Λεβιάθαν», του **Υψιπέδου Θαρσίς**, που καλύπτει σχεδόν ολόκληρο το δυτικό ημισφαίριο του πλανήτη και είναι υπερυψωμένο κατά 10 km από τη μέση επιφάνειά του. Αν και δεν είναι απολύτως κατανοητό το πώς ακριβώς ξεπρόβαλε ο τεράστιος αυτός όγκος από τα έγκατα του πλανήτη, αρκετοί επιστήμονες υιοθετούν την άποψη ότι η δημιουργία του έδωσε το έναυσμα για τη διαμόρφωση της **Κοιλάδας Mariner**, που ονομάστηκε έτσι προς τιμήν της διαστημοσκευής που πρώτη την ανακάλυψε. Πρόκειται για ένα αχανές σύστημα από φαράγγια, χαράδρες, ρωγμές και ρήγματα, που εκτείνεται για τουλάχιστον 4.000 km ανατολικά του Υψιπέδου Θαρσίς, τόσο εκτεταμένο που, εάν βρισκόταν στη Γη, θα εκτεινόταν από τη Λισαβόνα μέχρι τα Ουράλια. Ο εντυπωσιακός αυτός πλανήτης θα αποτελέσει μελλοντικά τον στόχο για την πρώτη επανδρωμένη αποστολή σε άλλον πλανήτη του Ηλιακού μας Συστήματος.

Επόμενο ορόσημο στην εξερεύνηση του Ηλιακού μας Συστήματος αποτέλεσε η αποστολή διαστημοσκευών για τη μελέτη των γιγάντιων αέριων πλανητών, δηλαδή του Δία, του Κρόνου, του Ουρανού και του Ποσειδώνα. Η προσπάθεια αυτή ξεκίνησε στα μέσα περίπου της δεκαετίας του '70 με τις διαστημοσκευές Pioneer 10 και 11, οι οποίες πραγματοποίησαν τις πρώ-

τες αναγνωριστικές αποστολές προς τον Δία και τον Κρόνο. Τη σκυτάλη έλαβαν στη συνέχεια οι θρυλικές διαστημοσκευές Voyager 1 και 2, οι οποίες σήμερα, 37 χρόνια μετά την εκτόξευσή τους, εξακολουθούν να λειτουργούν, με την δεύτερη να βρίσκεται στις παρυφές του Ηλιακού μας Συστήματος, και την πρώτη να κινείται ήδη στο κενό του μεσοαστρικού Διαστήματος. Με εξαίρεση, όμως, την διαστημοσκευή **Cassini/Huygens** για την εξερεύνηση του Κρόνου και του Τιτάνα, του μεγαλύτερου δορυφόρου του, οι αστρονόμοι δεν έχουν εξερευνήσει όσο θα ήθελαν τους αέριους γίγαντες του Ηλιακού μας Συστήματος.

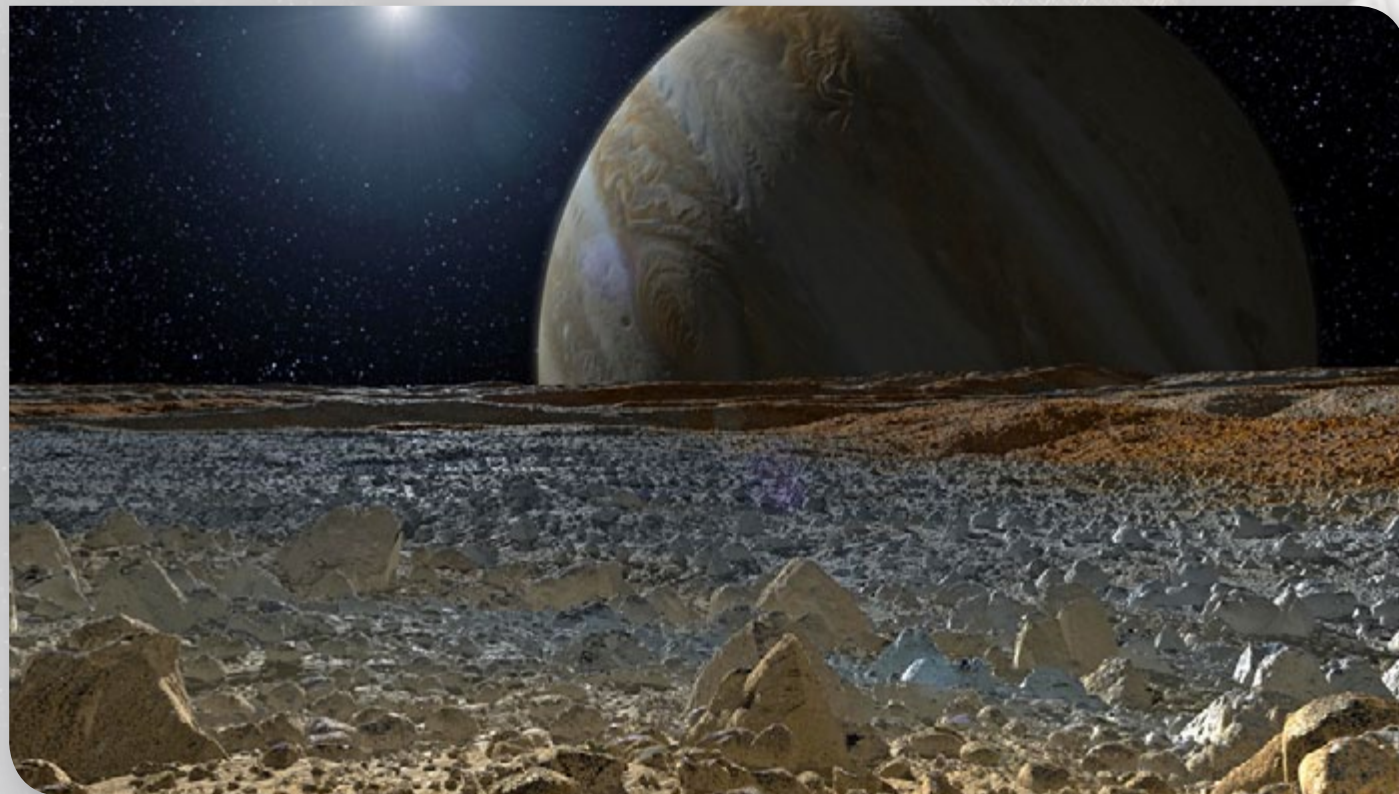
Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο **Δίας**, ο μεγαλύτερος πλανήτης του Ηλιακού μας Συστήματος. Ενώ περισσότερες από 50 διαστημικές αποστολές σχεδιάστηκαν για την εξερεύνηση του Άρη, ο αριθμός αυτός μειώνεται στις μόλις 8 για τον Δία, από τις οποίες μόνο μία τέθηκε σε τροχιά γύρω του. Αυτό αναμένεται να αλλάξει χάρη στην διαστημοσκευή **Juno**, που εκτοξεύθηκε στις 5 Αυγούστου 2011 και, όπως υπολογίζεται, θα εισέλθει σε τροχιά γύρω από τον Δία τον Ιούλιο του 2016. Δεκάδες δορυφόροι περιφέρονται γύρω από τον Δία, μεγαλύτεροι εκ των οποίων είναι η Ιώ, η Ευρώπη, ο Γανυμήδης και η Καλλιστώ, γνωστοί και ως οι *δορυφόροι του Γαλιλαίου*, προς τιμήν του Ιταλού αστρονόμου που τους ανακάλυψε το 1610. Μέχρι στιγμής, μάλιστα, τα δεδομένα δείχνουν ότι κάτω από την παγωμένη επιφάνεια της Ευρώπης ενδέχεται να κρύβεται



Καλλιτεχνική αναπαράσταση της προσεδάφισης του ρομποτικού οχήματος Curiosity στον Άρη (φωτογρ. NASA/JPL-Caltech).

έναν ωκεανό νερού σε υγρή μορφή και ότι η Ιώ είναι ίσως το πλέον γεωλογικά ενεργό ουράνιο σώμα του Ηλιακού μας Συστήματος. Η πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου ωκεανού στην Ευρώπη, αλλά και σε κάποιους άλλους από τους δορυφόρους του Δία, με ό,τι αυτό συνεπάγεται για την συναρπαστική πιθανότητα ύπαρξης μορφών μικροβιακής ζωής, καθιστά την συστηματικότερη εξερεύνησή τους αναγκαία. Ήδη, μάλιστα, ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Διαστήματος ESA έχει σχεδιάσει μια τέτοια ακριβώς αποστολή, η οποία

*Καλλιτεχνική αναπαράσταση της επιφάνειας της Ευρώπης
(φωτογρ. NASA/JPL-Caltech).*



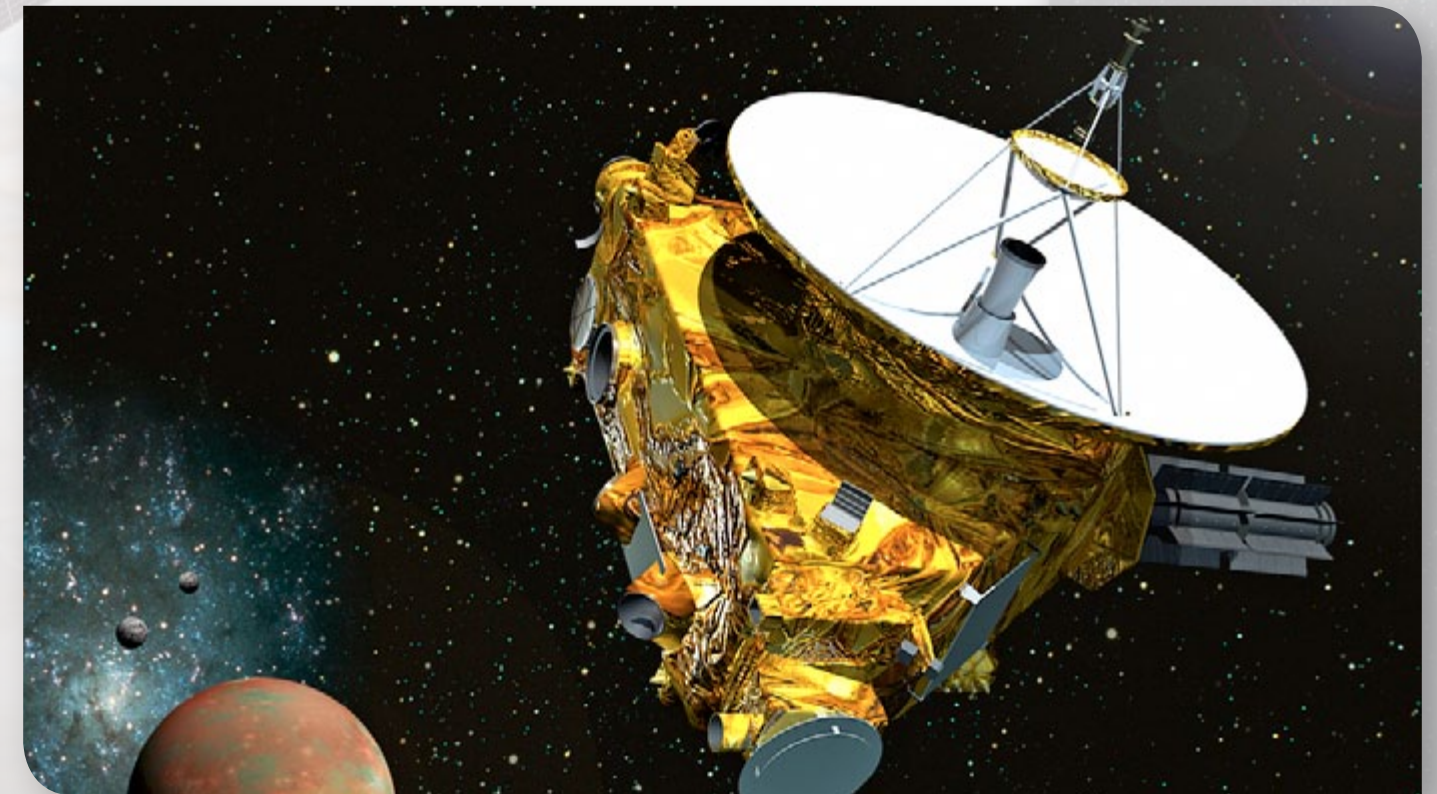
αναμένεται να εκτοξευθεί το 2022. Μέχρι στιγμής αντίθετα, η μοναδική διαστημοσυσκευή που έχει επισκεφτεί τον Ουρανό και τον Ποσειδώνα, τους δύο πιο απομακρυσμένους πλανήτες του Ηλιακού μας Συστήματος είναι το Voyager 2.

Ακόμη πιο μακριά αναμένεται να φτάσει η διαστημοσυσκευή **Νέοι Ορίζοντες** της NASA, που εκτοξεύθηκε στις 19 Ιανουαρίου 2006, με προορισμό τον πλανήτη-νάνο **Πλούτωνα**, στον οποίο αναμένεται να φτάσει το 2015. Η διαστημοσυσκευή αυτή, εκτός από τον Πλούτωνα και τους

δορυφόρους του, αναμένεται να προσεγγίσει και άλλα ουράνια σώματα που βρίσκονται στην επονομαζόμενη **Ζώνη Kuiper**. Η περιοχή αυτή του Ηλιακού μας Συστήματος εκτείνεται κατά προσέγγιση από την τροχιά του Ποσειδώνα στις περίπου 30 ΑΜ, μέχρι και τις 55 ΑΜ μακριά από τον Ήλιο, και εμπεριέχει τα παγωμένα συντρίμια του πρώιμου Ηλιακού μας Συστήματος (1 ΑΜ ισούται με την μέση απόσταση της Γης από τον Ήλιο, δηλαδή σχεδόν 150 εκατ. km).

Η διαστημοσυσκευή, όμως, που έχει φτάσει μα-

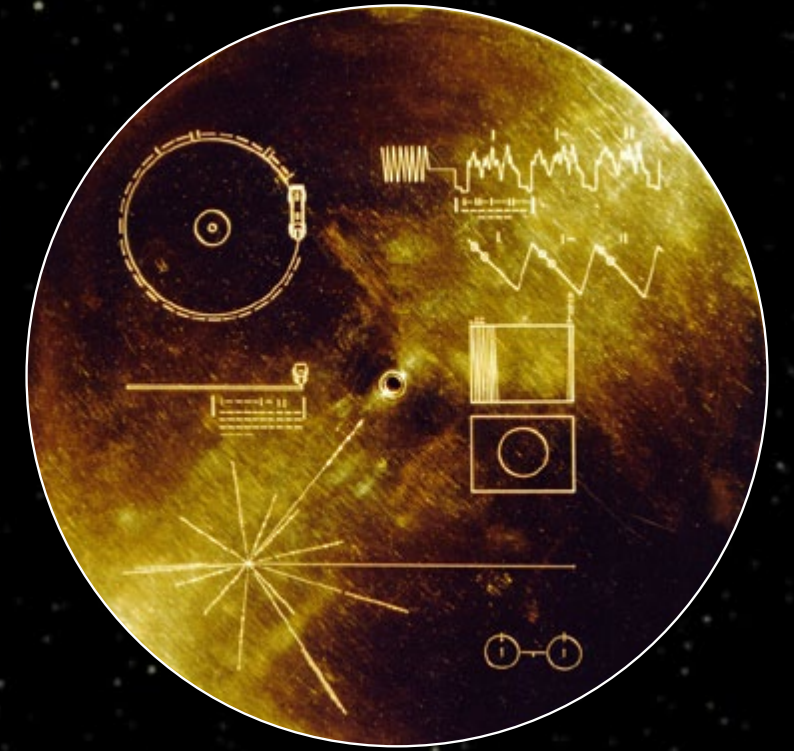
*Καλλιτεχνική αναπαράσταση της διαστημοσυσκευής Νέοι Ορίζοντες
(φωτογρ. NASA/JHUAPL/SwRI).*



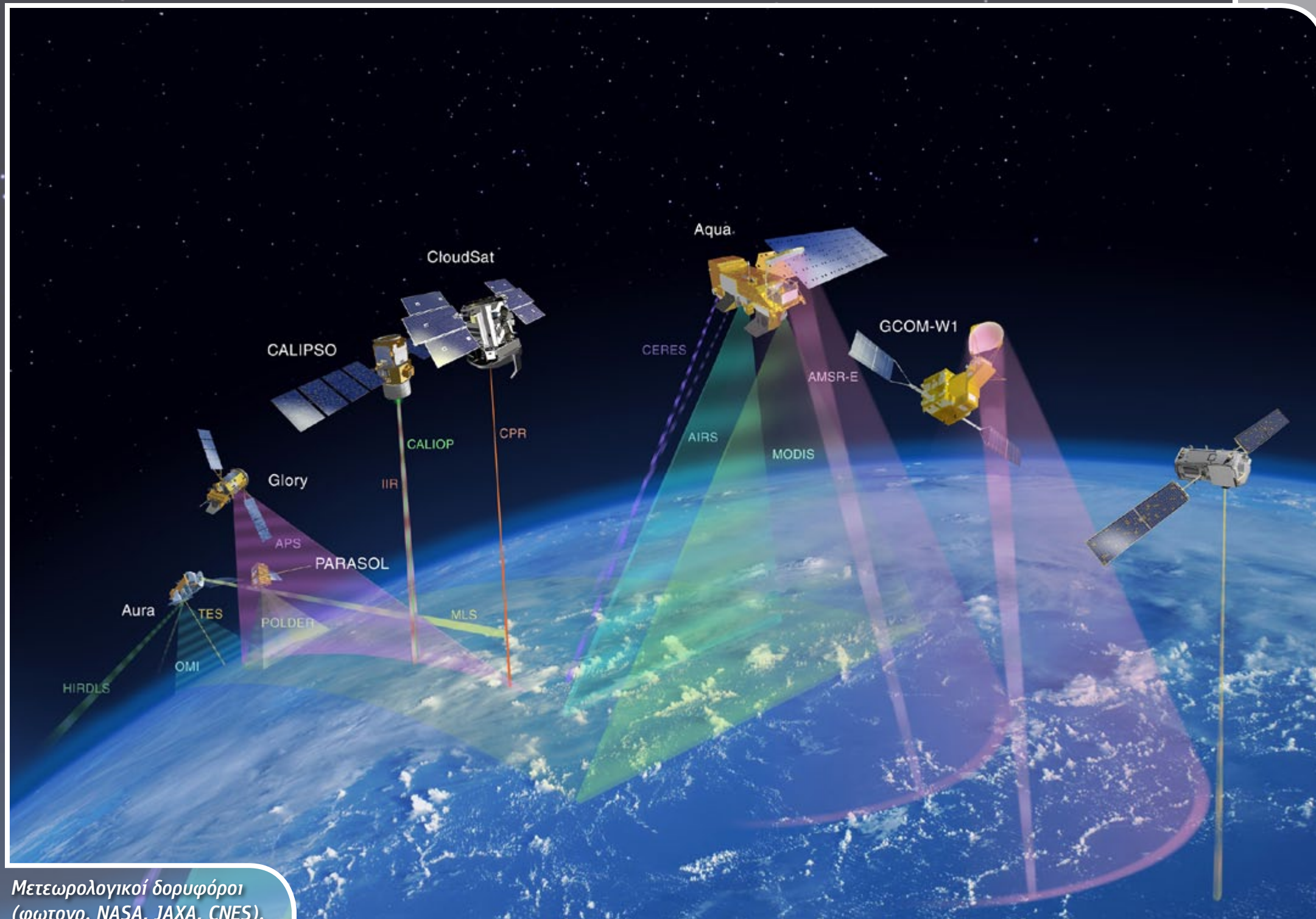
κρύτερα από οποιαδήποτε άλλη είναι το **Voyager 1**, που εκτοξεύθηκε το 1977. Σήμερα, λοιπόν, 37 χρόνια μετά την εκτόξευσή του και έχοντας απομακρυνθεί περισσότερο από 19,4 δισ. km από την Γη (Οκτώβριος 2014), το Voyager 1 έχει την «τιμή» να είναι η πρώτη διαστημοσυσκευή που αφήνει πίσω της το Ηλιακό Σύστημα. Πραγματικά, όπως υπολόγισαν οι αστρονόμοι, το Voyager 1 κινείται μέσα στην απεραντοσύνη του μεσοαστρικού Διαστήματος, ήδη από την 25^η Αυγούστου 2012. Σ' αυτήν την απόσταση, τα δε-

δομένα που μας στέλνει το Voyager 1, κινούμενα με την ταχύτητα του φωτός, χρειάζονται περίπου 18 ώρες μέχρι να φτάσουν στην Γη. Οι αστρονόμοι που ελέγχουν το Voyager 1 υπολογίζουν ότι η διαστημοσυσκευή διαθέτει ακόμη αρκετή ενέργεια, ώστε να συνεχίσει να λειτουργεί μέχρι το 2025. Από τη στιγμή αυτή και μετά, το Voyager 1 θα συνεχίσει την διαστημική του περιπλάνηση, ακυβέρνητο πια και χωρίς να μας στέλνει άλλα δεδομένα. Το Voyager 1, όπως εξάλλου και η δίδυμη διαστημοσυσκευή του Voyager 2, η οποία ακολουθεί μία διαφορετική και πιο μεγάλη διαδρομή εντός του Ηλιακού Συστήματος, μεταφέρει έναν χάλκινο επιχρυσωμένο δίσκο, στον οποίο είναι καταγεγραμμένο ένα μήνυμα της ανθρωπότητας προς κάθε άλλη νοημοσύνη, που πιθανόν συναντήσει. Στους επιχρυσωμένους δίσκους των

δύο Voyager έχουν καταγραφεί ήχοι και εικόνες από τη Γη, όπως καλωσορίσματα σε 55 γλώσσες, ήχοι της φύσης και αποσπάσματα 27 μουσικών συνθέσεων, καθώς επίσης και η θέση της Γης στο Ηλιακό μας Σύστημα και στον Γαλαξία. Στους δίσκους αυτούς έχει τοποθετηθεί από μία ραδιενεργή πηγή, η οποία θα επιτρέψει σ' εκείνον που πιθανώς τους ανακαλύψει να υπολογίσει το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε από την εκτόξευση των δύο Voyager. Θα μπορούσε άραγε να εντοπιστεί κάποια από τις δύο αυτές διαστημοσυσκευές από κάποιον εξωγήινο πολιτισμό, εάν υποθέσουμε φυσικά ότι όντως υπάρχει τέτοιος στον Γαλαξία μας, αλλά και με την προϋπόθεση ότι οι δύο Voyager θα καταφέρουν να επιβιώσουν στο αφιλόξενο περιβάλλον του μεσοαστρικού Διαστήματος; Ποιος ξέρει...◀



*Καλλιτεχνική αναπαράσταση της διαστημοσυσκευής Voyager 1.
Στα δεξιά διακρίνεται η μία όψη του επιχρυσωμένου δίσκου
(φωτογρ. NASA/JPL-Caltech).*



Μετεωρολογικοί δορυφόροι
(φωτογρ. NASA, JAXA, CNES).

8. Τηλεπικοινωνιακοί και Μετεωρολογικοί Δορυφόροι

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία δεν χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την αστρονομική έρευνα, αφού, εκτός από τα μηνύματα των άστρων ο Αγγελιαφόρος του Σύμπαντος μεταφέρει και τα δικά μας μηνύματα. Εκτός αυτού, με την βοήθεια της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μπορούμε να καταγράψουμε και να μελετήσουμε ακόμη και την παραμικρή μεταβολή που εκδηλώνεται στο γήινο σύστημα. Πραγματικά, κάθε φορά που ακούμε ραδιόφωνο, βλέπουμε τηλεόραση ή στέλνουμε ένα ηλεκτρονικό μήνυμα, κάθε φορά που χρησιμοποιούμε το GPS για να φτάσουμε στον προορισμό μας, κάθε φορά που διευρύνουμε τις γνώσεις μας για τα φυσικά φαινόμενα που επηρεάζουν τον πλανήτη μας, χρησιμοποιούμε με τον έναν ή τον άλλο τρόπο ηλεκτρομαγνητικά κύματα.

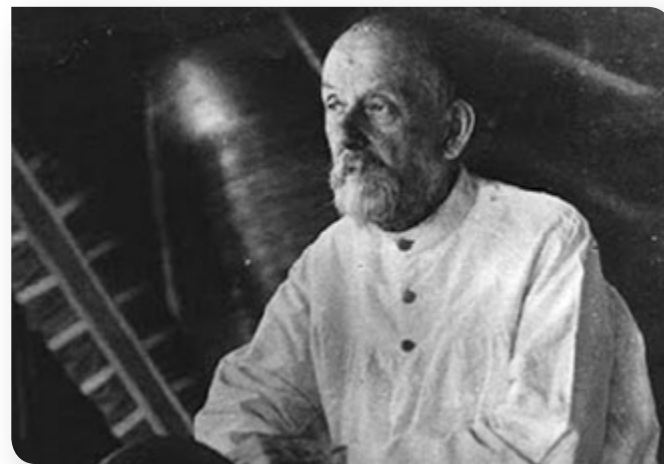


Για την υλοποίηση όλων αυτών των δραστηριοτήτων έχουμε ήδη θέσει σε τροχιά γύρω από την Γη εκατοντάδες δορυφόρους, οι περισσότεροι εκ των οποίων χρησιμοποιούνται από τους επιστήμονες για την πρόβλεψη των καιρικών φαινομένων, για την μελέτη των κλιματικών μεταβολών και για τις παγκόσμιες τηλεπικοινωνίες, ενώ οι υπόλοιποι συγκροτούν το Παγκόσμιο Σύστημα Θεσιθεσίας, το γνωστό GPS. Παρατηρώντας τον πλανήτη μας από ψηλά, οι δορυφόροι αυτοί «βλέπουν» ανά πάσα στιγμή μεγάλες περιοχές της Γης, γεγονός που τους επιτρέπει να συλλέγουν πολλά περισσότερα δεδομένα και πολύ πιο γρήγορα, απ' όσο τα διάφορα επιστημονικά όργανα που είναι εγκατεστημένα στο έδαφος.

Είναι γεγονός ότι, χωρίς την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, η σχεδόν ακαριαία ανταλλαγή πληροφοριών από την μία άκρη του κόσμου στην άλλη θα ήταν αδύνατη. Πραγματικά, ένας από τους βασικότερους παράγοντες που διαμόρφωσαν και συνεχίζουν να διαμορφώνουν τον σύγχρονο πολιτισμό είναι η ραγδαία ανάπτυξη στις παγκόσμιες τηλεπικοινωνίες, οι οποίες έχουν τόσο πολύ «συρρικνώσει» τον κόσμο μας, ώστε η επικοινωνία ανθρώπων που βρίσκονται χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά ο ένας απ' τον άλλον είναι πλέον ρουτίνα.

Βασισμένος στις μελέτες του θεωρητικού πρωτοπόρου της εξερεύνησης του Διαστήματος, **Konstantin Tsiolkovsky** (1857–1935), ο συγγραφέας επιστημονικής φαντασίας **Arthur Clarke** (1917–2008) είχε οραματιστεί ένα τέτοιο ακριβώς παγκόσμιο σύστημα επικοινωνίας, ήδη από

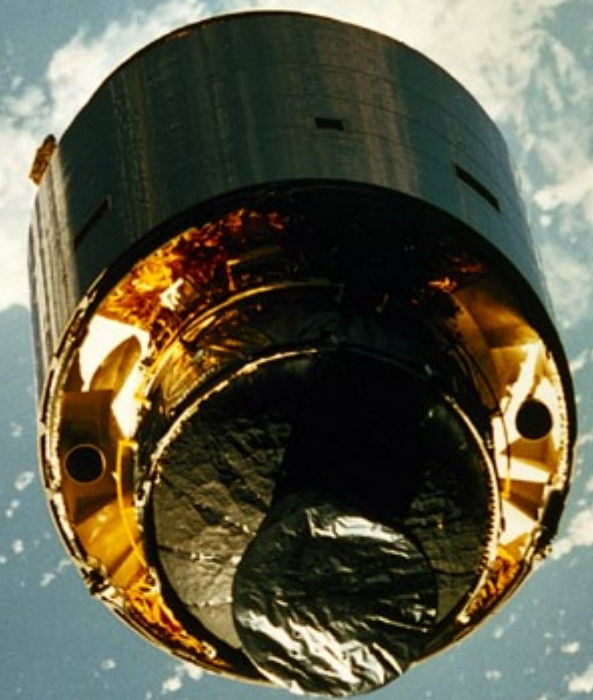
το 1954, δηλαδή 3 χρόνια πριν την εκτόξευση του σοβιετικού **Sputnik 1**, του πρώτου τεχνητού δορυφόρου. Το σύστημα αυτό λειτουργεί σήμερα με την μορφή ενός διεθνούς δικτύου, που περιλαμβάνει εκατοντάδες τηλεπικοινωνιακούς δορυφόρους και επίγειους σταθμούς μετάδοσης και λήψης των δορυφορικών σημάτων, οι οποίοι εξυπηρετούν καθημερινά έναν εντυπωσιακό αριθμό τηλεφωνικών συνδιαλέξεων και ραδιοτηλεοπτικών προγραμμάτων. Τα ραδιοτηλεοπτικά προγράμματα, οι τηλεφωνικές κλήσεις, το Διαδίκτυο, καθώς και κάθε άλλη μορφή επικοινωνίας, κωδικοποιούνται με την μορφή ψηφιακών δεδομένων, τα οποία αποστέλλονται στους τηλεπικοινωνιακούς μας δορυφόρους με την βοήθεια ραδιοκυμάτων και μικροκυμάτων. Οι δορυφόροι αυτοί επεξεργάζονται στην συνέχεια την ασταμάτητη ροή πληροφοριών που προσλαμβάνουν από την Γη, προτού τις επανεκπέμψουν στους



Ο θεωρητικός πρωτοπόρος της εξερεύνησης του Διαστήματος Konstantin Tsiolkovsky (φωτογρ. K.E.Tsiolkovsky Museum, Kaluga, Russia).

επίγειους σταθμούς, οι οποίοι με την σειρά τους θα τις προωθήσουν στις ψηφιακές συσκευές μας. Οι περισσότεροι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι κινούνται σε γεωστατικές τροχιές, περίπου 37.000 km πάνω από τον γήινο ισημερινό, που σημαίνει ότι ο απαιτούμενος χρόνος για να διαγράψουν μία πλήρη περιφορά γύρω από την Γη είναι ίδιος με τον χρόνο που χρειάζεται η Γη για να ολοκληρώσει μία πλήρη περιστροφή γύρω από τον εαυτό της. Γι' αυτό και, καθώς «αιωρούνται» πάνω από το ίδιο σημείο της επιφάνειας της Γης, μοιάζουν ακίνητοι.

Χάρη στην ραγδαία ανάπτυξη της διαστημικής τεχνολογίας καθόλη την διάρκεια του 20^{ου} αιώνα, οι σύγχρονοι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι, οι απόγονοι του Sputnik 1, έχουν δυνατότητες που δεν θα μπορούσαν ποτέ να φανταστούν οι κατασκευαστές εκείνου του πρωτοποριακού για την εποχή του δορυφόρου. Ο πρώτος καθαρά τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος ήταν ο αμερικανικός **Echo**, που εκτοξεύθηκε στις 12 Αυγούστου 1960, ο οποίος όμως απλώς ανακλούσε τα σήματα που ελάμβανε από τη Γη. Αντίθετα ο **Telstar**, ο επόμενος δορυφόρος που τέθηκε σε τροχιά το 1962, ενίσχυε τα σήματα αυτά πριν τα αναμεταδώσει. Το 1965 εκτοξεύθηκε ο δορυφόρος **Early Bird**, ο πρώτος γεωστατικός τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος, η ταχύτητα περιφοράς του οποίου ήταν ίση με την ταχύτητα περιστροφής της Γης γύρω από τον άξονά της και που γι' αυτόν ακριβώς τον λόγο παρέμενε διαρκώς πάνω από το ίδιο σημείο της γήινης επιφάνειας. Ήταν ο πρώτος δορυφόρος του διεθνούς δορυφορικού συστήματος τηλεπικοινωνιών **Intelsat**, ενώ



Ο δορυφόρος Intelsat (φωτογρ. NASA).

από αυτή τη χρονική στιγμή και μετά η ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιακών δορυφόρων υπήρξε ραγδαία. Σε χαμηλότερες τροχιές, περίπου 20.000 km πάνω απ' την επιφάνεια της θάλασσας, βρίσκονται οι δορυφόροι που στηρίζουν το Παγκόσμιο Σύστημα Θεσιθεσίας, το γνωστό σε όλους GPS, που έχει την δυνατότητα να εντοπίζει και να καθοδηγεί αεροπλάνα, πλοία και αυτοκίνητα σε οποιοδήποτε σημείο της Γης.

Οι επιστήμες, όμως, οι οποίες έχουν ευεργετηθεί ιδιαίτερα από τις διαστημικές αυτές δραστηριότητες, είναι οι επονομαζόμενες **Επιστήμες**

της Γης, που διερευνούν την ατμόσφαιρα, τους ωκεανούς, τον γήινο φλοιό, τη χλωρίδα και την πανίδα, δηλαδή η Μετεωρολογία, η Ωκεανογραφία, η Γεωλογία, η Γεωργία και η Βιολογία. Οι μετεωρολογικοί δορυφόροι, για παράδειγμα, μας στέλνουν καθημερινά όλες εκείνες τις πληροφορίες που χρειάζονται οι μετεωρολόγοι για την βραχυπρόθεσμη και μεσοπρόθεσμη πρόβλεψη των καιρικών συνθηκών σε κάθε περιοχή της Γης, ενώ το σύνολο των δεδομένων που συλλέγουν οι επιστήμονες σε βάθος χρόνου χρησιμοποιείται για την μακροπρόθεσμη πρόβλεψη των

Το μάτι του τυφώνα Isabel, 15 Σεπτεμβρίου 2003 (φωτογρ. NASA).



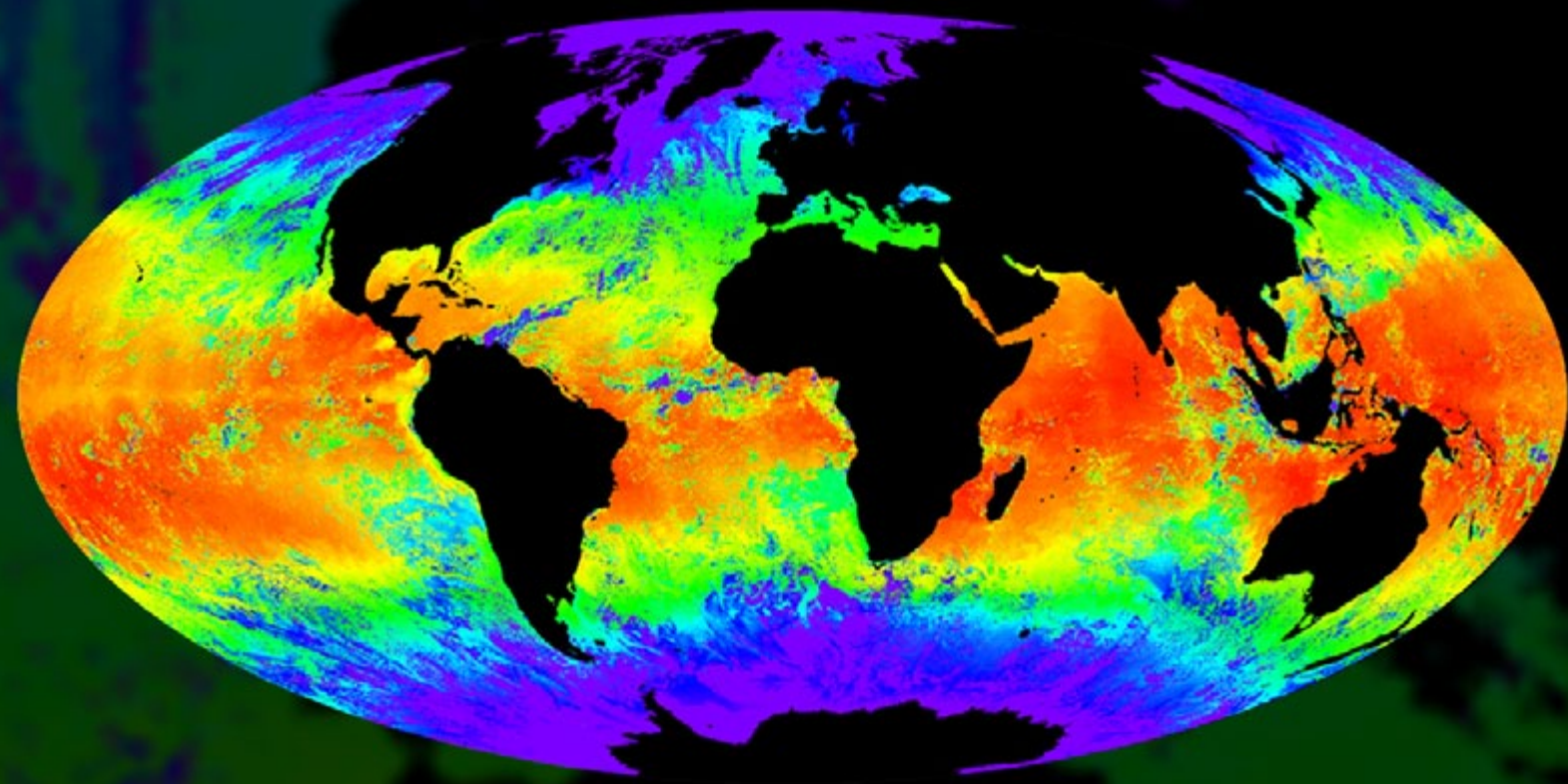
κλιματικών αλλαγών. Χωρίς τους δορυφόρους αυτούς, που μας προειδοποιούν έγκαιρα για την εξέλιξη ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως είναι οι τυφώνες, οι απώλειες σε ανθρώπινες ζωές θα ήταν πολύ μεγαλύτερες. Από την έκταση της ερημοποίησης στην ευρύτερη λεκάνη της Μεσογείου έως την μείωση της παγοκάλυψης στους Πόλους του πλανήτη, και από την συσσώρευση διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα έως την μείωση του όζοντος, που μας προστατεύει από την υπεριώδη ακτινοβολία του Ήλιου, οι δορυφόροι αυτοί παρακολουθούν την εξέλιξη κάθε φαινομένου που επηρεάζει το φυσικό περιβάλλον, τον καιρό και το κλίμα.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο δορυφόρος **OSTM**, που τέθηκε σε τροχιά στις 20 Ιουνίου 2008, με στόχο την συλλογή δεδομένων για τους ωκεανούς και τα θαλάσσια ρεύματα, για την θερμότητα που είναι αποθηκευμένη στους ωκεανούς, καθώς και για τις μεταβολές που παρατηρούνται στην Παγκόσμια Ωκεάνια Κυκλοφορία. Ο ιαπωνικός δορυφόρος **GOSAT**, από την άλλη, που τέθηκε σε τροχιά στις 23 Ιανουαρίου 2009, ήταν ο πρώτος δορυφόρος που σχεδιάστηκε αποκλειστικά για την παρακολούθηση των αερίων του θερμοκηπίου, καταγράφοντας συστηματικά την πυκνότητα του CO₂ και του μεθανίου (CH₄) στην ατμόσφαιρα. Εξίσου σημαντικός δορυφόρος είναι και ο **AQUA**, ο οποίος από τον Μάιο του 2002 συλλέγει δεδομένα για τον επονομαζόμενο *Κύκλο του Νερού*, δηλαδή για την αέναη ανακύκλωση και μεταφορά του νερού από την ξηρά στους ωκεανούς, μέσω των

τρεχούμενων υδάτων, εν συνεχεία από τους ωκεανούς και τα επιφανειακά νερά στην ατμόσφαιρα, μέσω της εξάτμισης, και εντέλει από την ατμόσφαιρα στην επιφάνεια της Γης, μέσω της συμπύκνωσης και κατακρήμνισης. Ένας άλλος δορυφόρος, ο **AURA**, τέθηκε σε τροχιά το 2004 για την συλλογή δεδομένων που αφορούν στην περιεκτικότητα του όζοντος, αλλά και την ποιότητα του αέρα που αναπνέουμε, και φυσικά δεκάδες άλλοι, οι οποίοι όμως είναι αδύνατο να παρουσιαστούν σε έναν Οδηγό όπως αυτός.

Είναι δεδομένο ότι οι πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ της ατμόσφαιρας, της υδρόσφαιρας, της γεώσφαιρας και της βιόσφαιρας επηρεάζουν με εξίσου πολύπλοκους τρόπους την λειτουργία του γήινου κλιματολογικού συστήματος. Γι' αυτό και οι επιστήμονες, στην προσπάθειά τους να κατανοήσουν σε βάθος την λειτουργία του πλανήτη μας, το παγκόσμιο κλιματικό σύστημα, καθώς και τις μεταβολές που αυτό υφίσταται εξαιτίας των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, δεν απομονώνουν πλέον τα διαφορετικά ερευνητικά πεδία που προαναφέραμε, αλλά αντίθετα τα συνδυάζουν, εστιάζοντας στην λειτουργία της Γης ως ενός δυναμικού και συνεχώς μεταβαλλόμενου συνόλου.

Για την συστηματικότερη καταγραφή και μελέτη των αλλαγών αυτών που σε βάθος χρόνου μεταβάλλουν το παγκόσμιο κλίμα, λειτουργεί εδώ και αρκετά χρόνια το **Παγκόσμιο Σύστημα Παρατήρησης**, το οποίο παρακολουθεί και καταγράφει, τόσο από το Διάστημα, όσο και από τους επίγειους σταθμούς, αλλά και από ειδικά

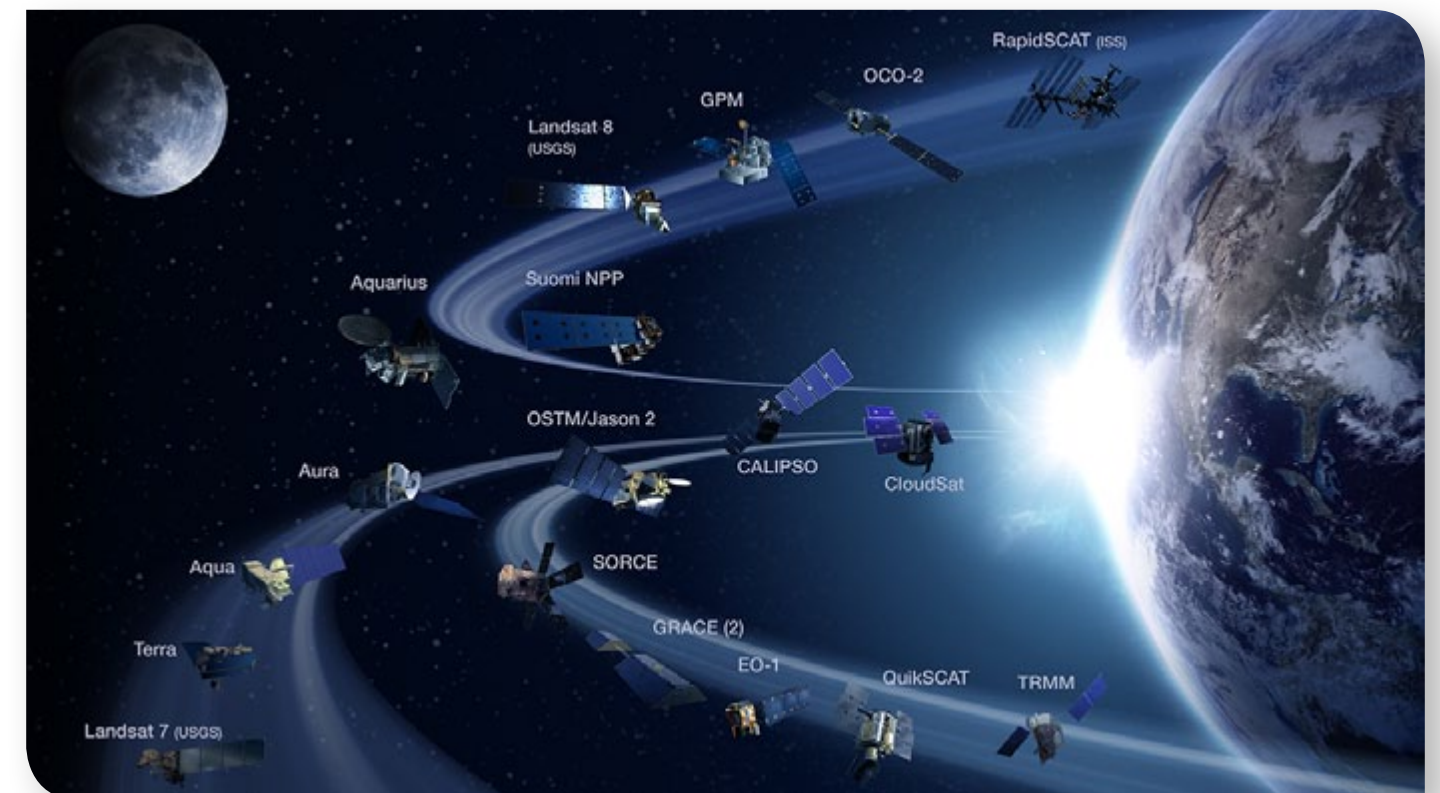


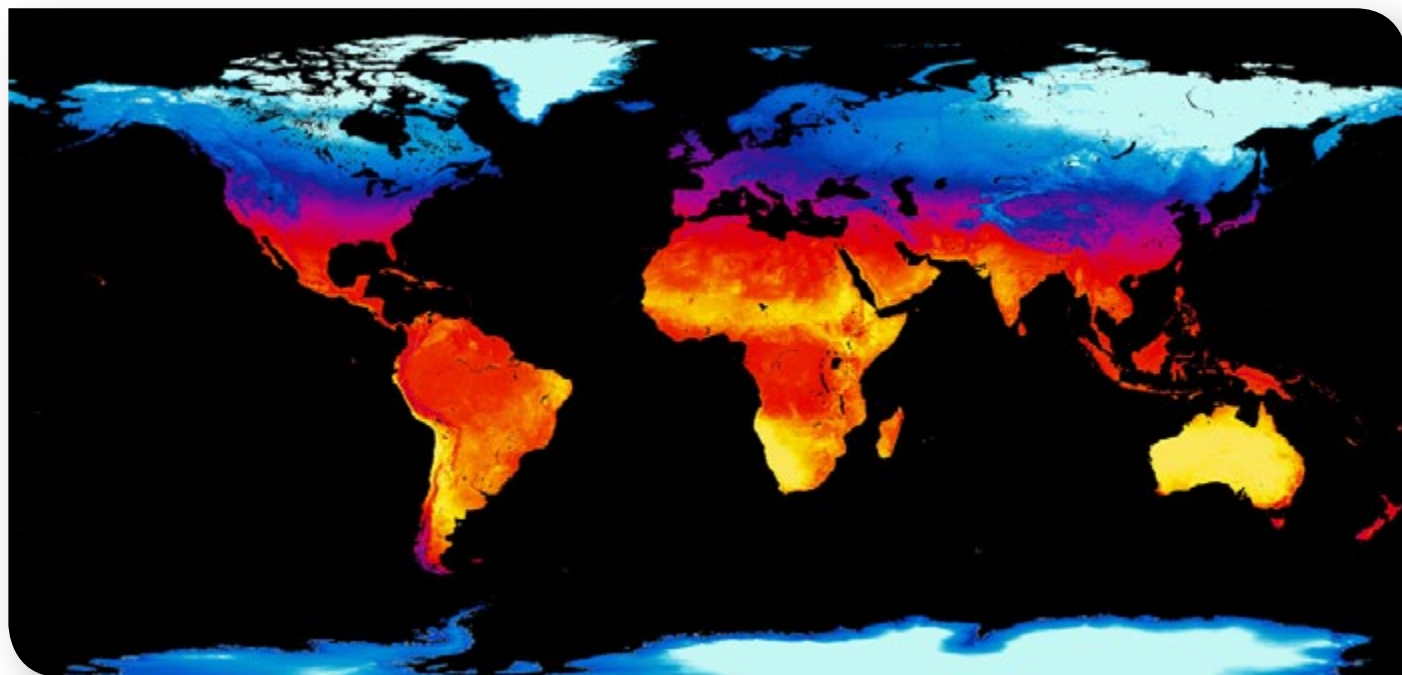
Χάρτης της επιφανειακής θερμοκρασίας των ωκεανών, όπου τα «θερμά» χρώματα αντιστοιχούν σε υψηλότερες θερμοκρασίες (φωτογρ. MODIS Ocean Science Team).

εξοπλισμένα πλοία και αεροπλάνα, κάθε περιβαλλοντική και μετεωρολογική παράμετρο που επηρεάζει βραχυπρόθεσμα τον καιρό και μακροπρόθεσμα το κλίμα. Οι παρατηρήσεις από το Διάστημα, ειδικότερα, περιλαμβάνουν συνεχείς μετρήσεις από τους μετεωρολογικούς δορυφόρους των ΗΠΑ, της Ευρώπης, της Ιαπωνίας, της Ινδίας, της Κίνας, της Ρωσίας κ.ά., καθώς και από τους δορυφόρους των μεγάλων διαστημικών υπηρεσιών του κόσμου, όπως της NASA και του ESA. Αυτό το διεθνές δορυφορικό, επίγειο, θα-

λάσσιο και εναέριο δίκτυο παρακολουθεί και καταγράφει συστηματικά όλες εκείνες τις φυσικές παραμέτρους, οι οποίες προσδιορίζουν την συμπεριφορά και την εξέλιξη των γήινων φυσικών φαινομένων: τους σεισμούς και τις ηφαιστειακές εκρήξεις, το ύψος της βροχής, τις ξηρασίες και τους καύσωνες, τις τροπικές καταιγίδες και τους τυφώνες κ.ο.κ.. Σαρώνοντας συστηματικά την επιφάνεια του πλανήτη μας, οι δορυφόροι αυτοί συλλέγουν δεδομένα για κάθε περιβαλλοντική αλλαγή, που σε βάθος χρόνου επηρεάζει

Οι δορυφόροι επισκόπησης της Γης της NASA (φωτογρ. NASA, courtesy of Jenny Mottar).





Χάρτης επιφανειακών θερμοκρασιών της Γης, όπου τα «θερμά» χρώματα αντιστοιχούν σε υψηλότερες θερμοκρασίες (φωτογρ. Jesse Allen, NASA's EO with data from MODIS Land Group).

και το κλίμα, ενώ η ανάλυση των δεδομένων αυτών μας βοήθησε να συνειδητοποιήσουμε ότι ο βασικός υπαίτιος για τις παγκόσμιες κλιματικές αλλαγές είναι οι ανθρώπινες δραστηριότητες.

Πραγματικά, σύμφωνα με τα ως τώρα δεδομένα, τις τελευταίες δεκαετίες λαμβάνει χώρα μία ακόμη παγκόσμια κλιματική αλλαγή, που σε αντίθεση με όσες προηγήθηκαν, δεν έχει φυσικά αίτια, αλλά είναι ανθρωπογενής. Βασικά αίτια γι' αυτό είναι οι τεράστιες ποσότητες CO₂, CH₄ και άλλων ενώσεων, που εκλύονται στην ατμόσφαιρα από την καύση των ορυκτών υδρογονανθράκων, την αποψίλωση των δασών και

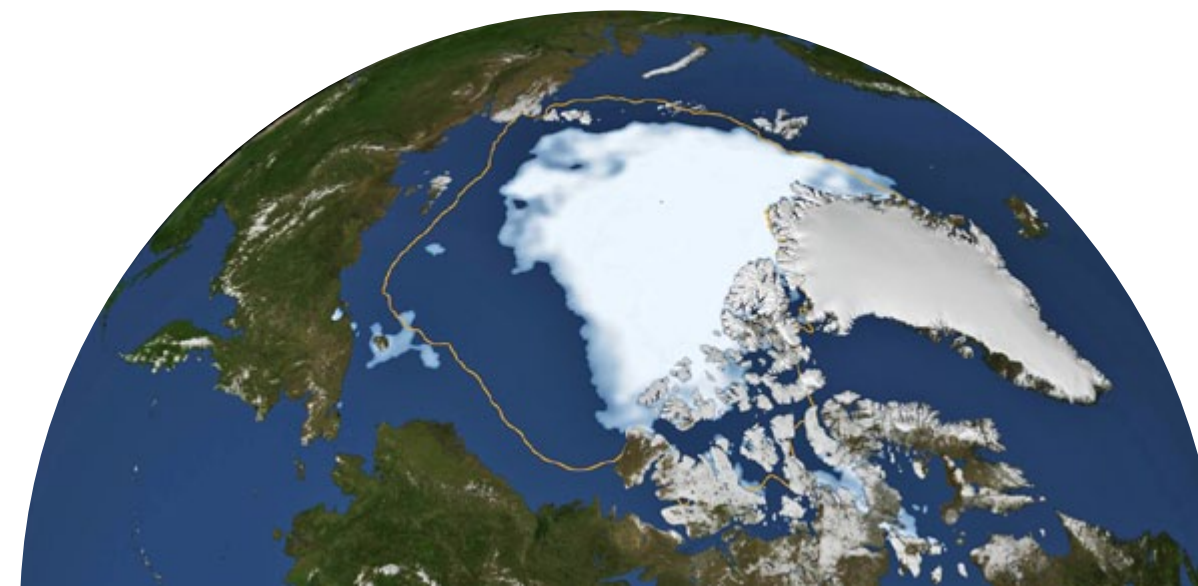
τις άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες, οι οποίες απορρυθμίζουν τον φυσικό θερμοστάτη του πλανήτη μας, αυξάνοντας διαρκώς την ένταση του φαινομένου του θερμοκηπίου και κατά συνέπεια τη μέση παγκόσμια θερμοκρασία. Τα αποτελέσματα αυτής της κλιματικής μεταβολής είναι ήδη ορατά, όχι μόνο στις υψηλότερες μέσες θερμοκρασίες και στις ξηρασίες που πλήττουν μεγάλες περιοχές του πλανήτη, αλλά και στην αύξηση της θερμοκρασίας των ωκεανών, στην άνοδο της στάθμης των θαλασσών και στη μείωση της παγοκάλυψης στους παγετώνες και στους πόλους.

Το γεγονός ότι η συγκέντρωση CO₂ στην ατμόσφαιρα αυξάνει διαρκώς, έχει ήδη τεκμηριωθεί από χιλιάδες επιστημονικές έρευνες και αναλύσεις. Οι περισσότεροι επιστήμονες, μάλιστα, αναμένουν ότι αυτή η αυξητική τάση θα συνεχιστεί και στο μέλλον, με σοβαρότατες συνέπειες, όπως περισσότερα και βιαιότερα ακραία καιρικά φαινόμενα, ταχύτερη άνοδο της στάθμης των ωκεανών και επιτάχυνση της τήξης των πάγων στην Αρκτική και στην Γροιλανδία, ενώ κανείς δεν γνωρίζει ακόμη με βεβαιότητα το πώς αυτό θα επηρεάσει την Παγκόσμια Ωκεάνια Κυκλοφορία.

Είναι αλήθεια ότι ο ακριβής μηχανισμός που ρυθμίζει σε βάθος χρόνου το κλίμα του πλανήτη μας δεν είναι απολύτως κατανοητός σε όλες του τις λεπτομέρειες. Ένας, ίσως, από τους λόγους που συμβαίνει αυτό είναι και η πληθώρα των παραγόντων που, αλληλεπιδρώντας ο ένας με τον άλλο, επηρεάζουν το κλίμα, με τρόπους που δυσχεραί-

νουν την ακριβή πρόβλεψη της μελλοντικής του εξέλιξης. Πραγματικά, η μεταβαλλόμενη κλίση του άξονα περιστροφής της Γης, η απόστασή της από τον Ήλιο, οι αλληλεξαρτώμενοι κύκλοι του άνθρακα και του νερού, η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε CO₂, CH₄ και υδρατμούς, η γεωτεκτονική δραστηριότητα, η κυκλοφορία των αέριων και ωκεάνιων ρευμάτων κι αυτή ακόμη η παρουσία της ζωής είναι μερικοί μόνο απ' τους παράγοντες που διαμορφώνουν τις κλιματικές μεταβολές του πλανήτη μας. Από την έναρξη, όμως, της βιομηχανικής επανάστασης και μετά, σ' αυτούς τους παράγοντες προστέθηκαν οι εκατοντάδες χιλιάδες τόνοι CO₂ και άλλων ενώσεων που διοχετεύονται στην ατμόσφαιρα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Δυστυχώς, εμείς και πολύ περισσότερο η γενιά που θα μας διαδεχθεί, θα βιώσουμε άμεσα τις δραματικές επιπτώσεις των βλαπτικών για το περιβάλλον δραστηριοτήτων μας ◀

Η παγοκάλυψη της Αρκτικής στις 26 Αυγούστου 2012 (φωτογρ. Scientific Visualization Studio, NASA Goddard Space Flight Center).





Εργασίες συναρμολόγησης του Διεθνούς Διαστημικού Σταθμού, 12 Δεκεμβρίου 2006 (φωτογρ. NASA).

9. Επίλογος: Τα Οφέλη της Επιστημονικής Έρευνας

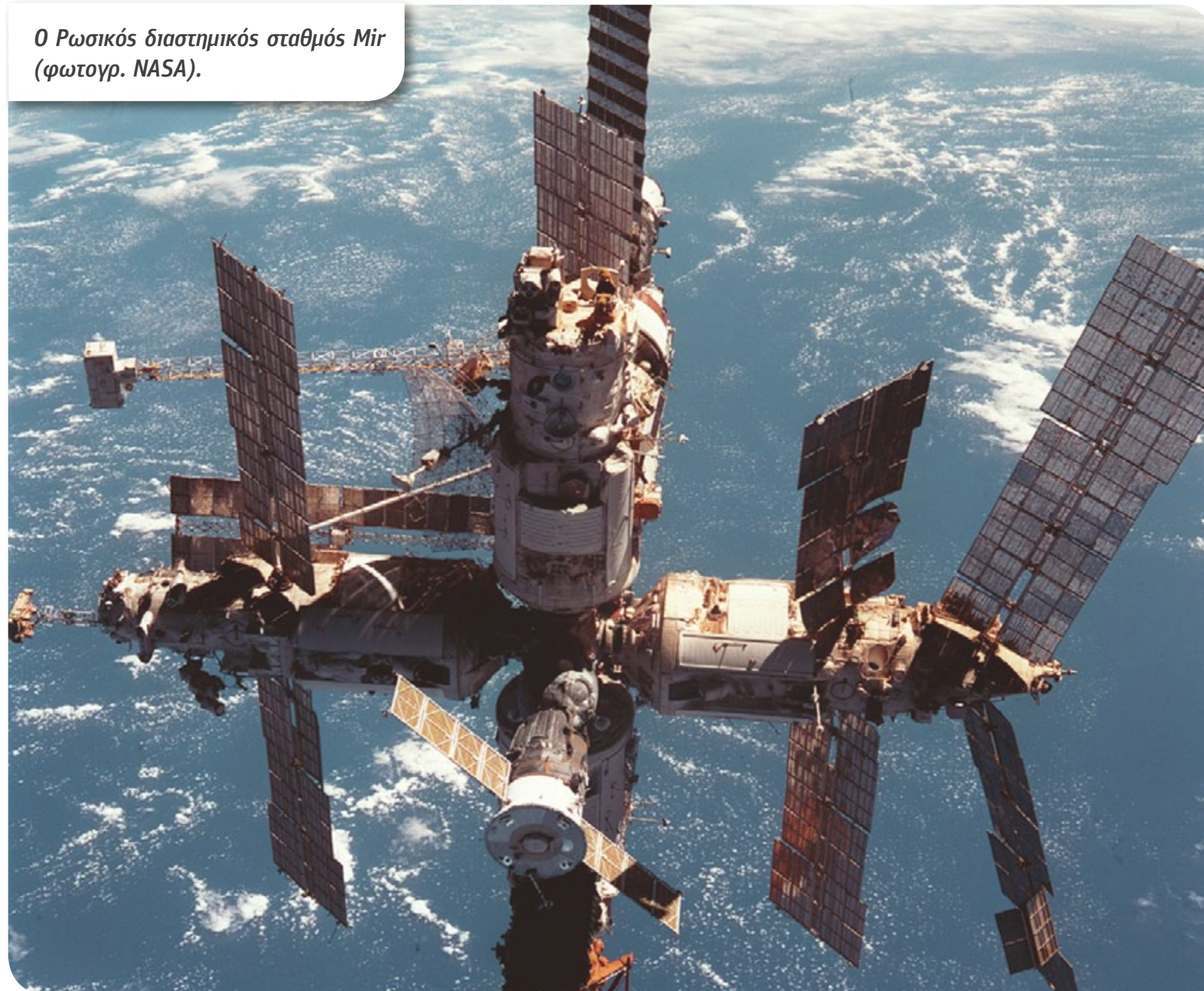
Οι τεχνολογίες που μας επέτρεψαν να «δούμε» το Σύμπαν όταν ήταν ακόμα νέο, οι τεχνολογίες που μετέφεραν τις διαστημοσυσκευές μας στα πέρατα του Ηλιακού Συστήματος και επέτρεψαν την σχεδόν ακαριαία μετάδοση πληροφοριών από την μία άκρη του κόσμου στην άλλη, άνοιξαν τον δρόμο στην ανάπτυξη και βελτίωση αναρίθμητων συσκευών που χρησιμοποιούμε στην καθημερινή μας ζωή. Είναι γεγονός ότι πολλές από τις νέες τεχνολογίες και τα νέα προϊόντα που χρησιμοποιούμε καθημερινά, δανείσθηκαν ιδέες και τεχνικές, οι οποίες αναπτύχθηκαν αποκλειστικά για την εξερεύνηση του Διαστήματος. Από την απαρχή της Διαστημικής εποχής με την εκτόξευση του Σοβιετικού **Sputnik-1** το 1957, αλλά και καθόλη την διάρκεια του 20^{ού} αιώνα, τα παραδείγματα είναι χιλιάδες.



Και όμως, όταν τελικά οι Αμερικανοί αστροναύτες **Neil Armstrong** (1930–2012) και **Edwin Aldrin** (1930–) έκαναν το 1969 το πρώτο τους μικρό βήμα στην επιφάνεια της Σελήνης, αυτό το γιγάντιο άλμα για την ανθρωπότητα ήταν το αποτέλεσμα του σκληρού και αδυσώπητου ανταγωνισμού μεταξύ των δύο υπερδυνάμεων της εποχής και όχι τόσο της προσπάθειας για την πρόοδο της επιστημονικής γνώσης. Όμως, με το τέλος των διαστημικών αποστολών Apollo και με τη σταδιακή στροφή του ενδιαφέροντος της τότε Σοβιετικής Ένωσης και των ΗΠΑ προς την εξερεύνηση των άλλων πλανητών του Ηλιακού μας Συστήματος, με την πρόοδο που σημειώθηκε στη θεωρητική αστροφυσική και στην κοσμολογία και με την ανάπτυξη των διαστημικών τηλεσκοπίων, ο άτυπος αυτός πόλεμος μεταξύ των δύο υπερδυνάμεων άρχισε σιγά-σιγά να φτάνει προς το τέλος του. Το κοινό διαστημικό πρόγραμμα Αμερικανών και Σοβιετικών **Apollo–Soyuz**, που υλοποιήθηκε το 1975, σηματοδότησε την αρχή του τέλους του διαστημικού αυτού ανταγωνισμού, ενώ η παγκόσμια προσπάθεια για την κατασκευή του Διεθνούς Διαστημικού Σταθμού (International Space Station, ISS), που ξεκίνησε το 1998, αποτελεί το χαρακτηριστικότερο ίσως παράδειγμα των επιτευγμάτων που μπορούν να υλοποιηθούν μέσα από την διεθνή συνεργασία.

Οι τεχνολογικές προκλήσεις που αντιμετώπιζαν οι επιστήμονες και οι μηχανικοί σε εκείνα τα πρώτα τους βήματα για την εξερεύνηση του Διαστήματος, τους οδήγησε στην επινόηση ελαφρύτερων,

Ο Ρωσικός διαστημικός σταθμός Mir (φωτογρ. NASA).



μικρότερων και ισχυρότερων υπολογιστών, ηλιακών κυψελών, μπαταριών και άλλων εφευρέσεων που, ενώ σχεδιάστηκαν αποκλειστικά για την εξερεύνηση του Διαστήματος, βρήκαν εντέλει εφαρμογές σε πολλούς άλλους τομείς. Κοινό χαρακτηριστικό των περισσότερων από αυτά τα παράγωγα προϊόντα της εξερεύνησης του Διαστήματος είναι ότι κανένας δεν μπορούσε να προβλέψει τα ειδικότερα κοινωνικά και οικονομικά οφέλη που θα προέκυπταν απ' αυτήν.

Τα οφέλη, όμως, που απορρέουν από την εξερεύνηση του Διαστήματος, δεν περιορίζονται μόνο στην διεύρυνση των επιστημονικών και τεχνολογικών μας γνώσεων αυτών καθαυτών, ούτε μόνο στις νέες συσκευές και υπηρεσίες, που βρίσκουν εφαρμογές στην αγορά και συμβάλλουν στην ανάπτυξη του ανθρώπινου δυναμικού και της βιομηχανίας, ούτε μόνο στην οικονομική ανάπτυξη. Γιατί, η διαστημική έρευνα αποφέρει και σπουδαιότατα έμμεσα οφέλη με πολυσύνθετες και πολυποίκιλες τόσο κοινωνικές, όσο και φιλοσοφικές προεκτάσεις, που εμπλουτίζουν τον Παγκόσμιο Πολιτισμό, εμπνέοντας τους πολίτες όλων των χωρών του κόσμου.

Πραγματικά, η αέναη προσπάθεια για την κατανόηση των νόμων της Φύσης μέσα από την έρευνα συνιστούν ανεκτίμητη παγκόσμια κληρονομιά και μαζί με τα Γράμματα και τις Τέχνες, αποτελούν το μεγαλύτερο μνημείο της ανθρώπινης νόησης. Τα αποτελέσματα της αστρονομικής έρευνας και της εξερεύνησης του Διαστήματος συνδέονται καίρια με την εσωτερική ανάγκη

όλων μας να θέτουμε ερωτήματα, να αναζητούμε απαντήσεις και να προσπαθούμε να κατανοήσουμε τον εαυτό μας και το Σύμπαν. Η ενδεχόμενη ύπαρξη ζωής και αλλού στο Σύμπαν, το εάν και κατά πόσο το μακρινό μέλλον του ανθρώπου θα είναι για πάντα συνδεδεμένο με τον πλανήτη μας κ.ά. είναι ερωτήματα που, εάν και όποτε απαντηθούν, θα επηρεάσουν βαθιά και με απρόβλεπτους τρόπους σχεδόν κάθε έκφανση του πολιτισμού μας. Δεν είχε, λοιπόν, άδικο ο μεγάλος θεωρητικός φυσικός **Steven Hawking** όταν υποστήριζε ότι «*το να περιορίζουμε το ενδιαφέρον μας στα γήινα πράγματα θα ήταν σαν*

να περιορίζουμε το ίδιο το ανθρώπινο πνεύμα». Πραγματικά, η διεύρυνση των ορίων της γνώσης και οι επαναστάσεις που προκλήθηκαν με την απόρριψη του γεωκεντρικού συστήματος, λόγω χάρη, με τη διαπίστωση ότι το Σύμπαν διαστέλλεται ή με την αποστολή των πρώτων αστροναυτών στην Σελήνη είναι τόσο συγκλονιστικά επιτεύγματα που οποιαδήποτε προσπάθεια οικονομικής αποτίμησής τους, τα υποβαθμίζει. Η συμβολή δηλαδή της διαστημικής έρευνας, αλλά και της βασικής επιστημονικής έρευνας εν γένει, στην διαμόρφωση και στην εξέλιξη του παγκόσμιου πολιτισμού, είναι τόσο ουσιαστική που

δεν χρειάζεται καν να δικαιολογηθεί με αναφορές σε οικονομικά και άλλα οφέλη, όπως παρόλα αυτά θα γίνει στην συνέχεια.

Παρόλο που υπάρχουν αρκετά παραδείγματα περί του αντιθέτου, είναι γεγονός ότι οι περισσότερες από τις τεχνολογίες που αναπτύσσονται καθόλη την διάρκεια του 20^{ου} αιώνα ήταν άμεσα εξαρτώμενες και χρονικά ακολούθησαν τις εξελίξεις στη βασική έρευνα. Εκτός αυτού, η επιστημονική έρευνα απαιτεί τεχνικά μέσα, τα οποία συχνά υπερβαίνουν τις δυνατότητες της υπάρχουσας τεχνολογίας. Σε αυτήν την περίπτωση η πρόοδος που παρατηρείται όσον αφορά στα νέα τεχνολογικά επιτεύγματα και στην καινοτομία δεν πηγάζει αρχικά από την επιθυμία να υλοποιηθεί και στην συνέχεια να αξιοποιηθεί οικονομικά ένας συγκεκριμένος πρακτικός στόχος, αλλά από την προσπάθεια να διευρυνθούν τα όρια της γνώσης.

Γί αυτό, όπως υποστήριξε και ο Christopher Llewellyn Smith, άλλοτε γενικός διευθυντής του Ευρωπαϊκού Κέντρου Πυρηνικών Ερευνών **CERN**, ο ισχυρισμός ότι οι νέες τεχνολογίες και η καινοτομία αναπτύσσονται ανεξάρτητα από τη βασική έρευνα, η οποία κατά κύριο λόγο διεξάγεται στα πανεπιστήμια και στους κρατικούς ερευνητικούς φορείς, είναι λανθασμένος. Αντιθέτως, η ανάπτυξη αυτή είναι το άμεσο ή έμμεσο αποτέλεσμα της δυνατότητας των επιστημόνων να διερευνούν θεμελιώδη ερωτήματα, τα οποία εκ πρώτης δεν παρουσιάζουν καμιά προφανή πιθανότητα οικονομικής ή άλλης αντα-

πόδοσης. Όπως μας θυμίζει ο Llewellyn Smith, αυτό ακριβώς υποστήριζε και ο Άγγλος φυσικός **J. J. Thomson** (1856–1940), που ανακάλυψε το ηλεκτρόνιο και τιμήθηκε για τις έρευνές του αυτές με το Νόμπελ Φυσικής το 1906. Όπως έλεγε ο Thomson σε μια ομιλία του το 1916:

«Με τον όρο έρευνα στις βασικές επιστήμες εννοώ την έρευνα η οποία διεξάγεται με αποκλειστικό στόχο τη διεύρυνση της γνώσης για τους Νόμους της Φύσης, ανεξάρτητα από τις πιθανές εφαρμογές που ενδέχεται να έχει στη βιομηχανία. Θα δώσω ένα μόνο παράδειγμα για τη



Οι μαγνήτες του Μεγάλου Αδρονικού Επιταχυντή LHC στο CERN κατά την εγκατάστασή τους (φωτογρ. ATLAS Experiment © 2014 CERN).



Ο Άγγλος φυσικός J.J. Thomson.

"χρησιμότητα" αυτού του είδους της έρευνας, παράδειγμα το οποίο αναδείχτηκε ιδιαίτερα από τον Πόλεμο – και εννοώ τη χρήση των ακτίνων Χ στη χειρουργική... Τώρα, πώς ανακαλύφθηκε αυτή η μέθοδος; Δεν ήταν το αποτέλεσμα της έρευνας στην εφαρμοσμένη επιστήμη με στόχο να βρεθεί μια βελτιωμένη μέθοδος εντοπισμού τραυμάτων από σφαίρες. Κάτι τέτοιο ενδεχομένως να οδηγούσε στην κατασκευή βελτιωμένων χειρουργικών εργαλείων εξέτασης τραυμάτων, δεν μπορούμε όμως να φανταστούμε ότι θα οδηγούσε στην ανακάλυψη των ακτίνων Χ. Όχι, η μέθοδος αυτή οφείλεται στην καθαρή επιστημονική διερεύνηση, η οποία διεξήχθη με στόχο να ανακαλυφθεί η φύση του Ηλεκτρισμού».

Οι ενστάσεις πολλών, ότι δηλαδή τα ποσά τα οποία δαπανώνται στην έρευνα, ιδιαίτερα σε ερευνητικούς τομείς όπως στην εξερεύνηση του Διαστήματος, στην αστροφυσική και στη φυσική των στοιχειωδών σωματιών, θα μπορούσαν καλύτερα να επενδυθούν στη βελτίωση του κοινωνικού, του βιοτικού και του οικονομικού τομέα, είναι κατανοητές. Θα προσπαθήσουμε στην συνέχεια να δείξουμε ότι δεν είναι και δικαιολογημένες. Για παράδειγμα, έπειτα από αίτηση του Υπουργείου Οικονομικών της Μεγάλης Βρετανίας, το τμήμα Science Policy Research Unit (SPRU) του Πανεπιστημίου του Sussex διεξήγαγε μια μελέτη με αντικείμενο την σχέση μεταξύ της δημόσιας δαπάνης για την βασική έρευνα και της οικονομικής της απόδοσης. Ένα από τα βασικά συμπεράσματα της μελέτης αυτής ήταν ότι οι νέες μεθοδολογίες, οι νέες τεχνικές και τα νέα

επιστημονικά όργανα, τα οποία αναπτύσσονται με αποκλειστικό σκοπό την συμβολή τους στην βασική επιστημονική έρευνα, αποδεικνύεται καθημερινά ότι με την εφαρμογή τους στην βιομηχανία και στην κοινωνία γενικότερα, επιταχύνουν την τεχνολογική πρόοδο, δίνουν το έναυσμα για την παραγωγή νέων τεχνολογικών προϊόντων, συνεισφέρουν στην οικονομική ανάπτυξη και βελτιώνουν την ποιότητα ζωής του πολίτη.

Θα μπορούσε εδώ να ισχυριστεί κάποιος ότι τα επιχειρήματα αυτά υπέρ της ενίσχυσης της χρηματοδότησης της βασικής έρευνας παρουσιάζονται συνήθως από τους ίδιους τους ερευνητές και τα ακαδημαϊκά ιδρύματα και ως εκ τούτου ότι δεν είναι ίσως τόσο αμερόληπτα. Γι' αυτό και παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον να δει κανείς πώς αντιμετωπίζει το θέμα αυτό η αμερικανική Επιτροπή για την Οικονομική Ανάπτυξη (CED), ένας ανεξάρτητος οργανισμός, το διοικητικό συμβούλιο του οποίου απαρτίζουν εν ενεργεία ή πρώην πρόεδροι, CEO's και μέλη οικονομικών κολοσσών όπως των Shell, Ford Motor Company, BankAmerica Corporation, Texaco Inc κ.ά.. Το 1998, για παράδειγμα, η CED, στην μελέτη της για τη σημασία της βασικής έρευνας στις ΗΠΑ, με τίτλο «[Βασική Έρευνα: Ευημερία Μέσο από την Ανακάλυψη](#)», διαπιστώνει μεταξύ άλλων τα εξής:

- ▶ Παρ' όλο που ορισμένες μεγάλες επιστημονικές ανακαλύψεις βρήκαν άμεσες πρακτικές εφαρμογές, κατά κανόνα τα αποτελέσματα της βασικής έρευνας αξιοποιούνται αρκετά χρόνια



Πέμπτο Συνέδριο Solvay, Οκτώβριος 1927, Βρυξέλλες.

Ποτέ άλλοτε δεν συγκεντρώθηκαν τόσοι πολλοί και κορυφαίοι επιστήμονες σε ένα μόνο συνέδριο. Στην εικόνα διακρίνονται μεταξύ άλλων οι Planck, H.A. Lorentz, Αϊνστάϊν, Curie, Schrodinger, Pauli, Heisenberg, Dirac, Compton, de Broglie, Born και Bohr. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι 17 από τους 29 συμμετέχοντες είχαν ήδη τιμηθεί ή θα τιμώνταν αργότερα με το Νόμπελ Φυσικής. Είναι εξίσου χαρακτηριστικό ότι σχεδόν όλοι τους εργάστηκαν με κύριο σκοπό την διεύρυνση των επιστημονικών μας γνώσεων για τον κόσμο και τα φυσικά φαινόμενα, χωρίς να τους απασχολούν οι πιθανές πρακτικές απολαβές που θα προέκυπταν από την έρευνά τους. Και όμως, χωρίς αυτούς πολλά απ' όσα σήμερα απολαμβάνουμε δεν θα είχαν υπάρξει.

αργότερα. Συχνά μάλιστα, τα μεγαλύτερα οφέλη παρουσιάζονται εκεί που δεν το περιμένει κανείς. Θεμέλιο των περισσότερων τεχνολογικών ανακαλύψεων είναι η βασική έρευνα. Τα οικονομικά οφέλη που προκύπτουν από την βασική έρευνα είναι ιδιαίτερος υψηλά, ενώ η κρατικά χρηματοδοτούμενη βασική έρευνα δίνει μεγάλη ώθηση στην τεχνολογική ανάπτυξη και στην καινοτομία που αναπτύσσεται από τον ιδιωτικό τομέα.

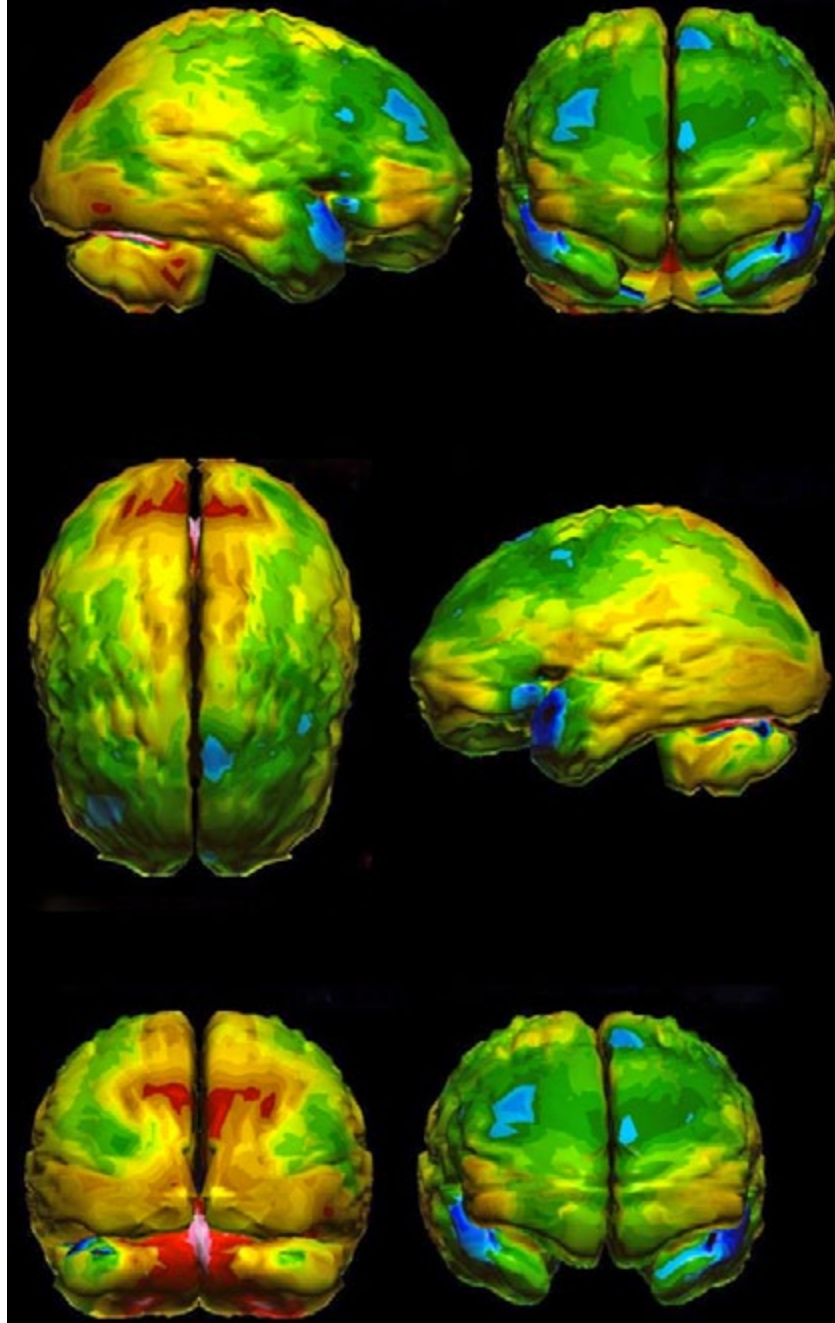
- Η βασική επιστημονική έρευνα διενεργείται κυρίως εντός των πανεπιστημιακών ιδρυμάτων και των κρατικών ερευνητικών κέντρων. Η επιστημονική γνώση που προκύπτει από τη βασική επιστημονική έρευνα είναι προς όφελος του κοινωνικού συνόλου και αποτελεί αυτό που συχνά ονομάζεται «κοινό καλό». Γι' αυτό και ο σημαντικότερος χρηματοδότης της βασικής έρευνας είναι το κράτος. «*Η CED διαφωνεί ριζικά με τη νέα τάση, (...) που υποστηρίζει ότι η κρατική χρηματοδότηση της βασικής έρευνας δεν είναι καθόλου απαραίτητη στην οικονομία της ελεύθερης αγοράς και ότι ο περιορισμός των κεφαλαίων για τη βασική έρευνα θα έχει ελάχιστο οικονομικό αντίκτυπο, μιας και η καινοτομία βασίζεται κυρίως στην υπάρχουσα τεχνολογία*».

Είναι γεγονός, με δυο λόγια, ότι τα οικονομικά και πρακτικά ανταλλάγματα, άμεσα ή έμμεσα, από την βασική έρευνα είναι ιδιαίτερος υψηλά. Η περιγραφική αποτύπωσή τους, όμως, είναι ακόμη πιο διαφωτιστική και ο Llewellyn Smith

στο άρθρο του με τίτλο «[Ποια είναι η χρησιμότητα της βασικής έρευνας;](#)» μας θυμίζει αρκετά από αυτά. Για παράδειγμα, παρ' όλο που οι σωματιδιακοί επιταχυντές αρχικά κατασκευάστηκαν αποκλειστικά για την έρευνα στην πυρηνική φυσική και στη φυσική στοιχειωδών σωματιδίων, από τους χιλιάδες που λειτουργούν σήμερα παγκοσμίως, λιγότεροι από το 1% χρησιμοποιούνται στην έρευνα, καθώς η μεγάλη πλειονότητά τους έχει βρει εφαρμογές σε τομείς που ξεκινούν από τη θεραπεία του καρκίνου και καταλήγουν στην ανάπτυξη καινούργιων υλικών. Στην ιατρική, η μαγνητική τομογραφία, η τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίου και η υπολογιστική τομογραφία εκπομπής φωτονίου (γνωστότερες με τα αγγλικά τους ακρωνύμια ως MRI, PET και SPECT) έγιναν πραγματικότητα εξ αιτίας του σχεδιασμού και της κατασκευής υπεραγωγίμων μαγνητών, κρυστάλλων, φωτοανιχνευτών και μικροηλεκτρονικής, που αναπτύχθηκαν αποκλειστικά για τις ανάγκες της έρευνας στην φυσική στοιχειωδών σωματιδίων. Ορισμένοι αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν σε ανιχνευτές σωματιδίων χρησιμοποιούνται τώρα σε συσκευές ανίχνευσης της βιομηχανικής μόλυνσης. Το φαινόμενο της υπεραγωγιμότητας, το οποίο ανακαλύφθηκε το 1911 και κατανοήθηκε στη διάρκεια της δεκαετίας του '50, οδήγησε σε μια πληθώρα από τεχνολογικές εφαρμογές, όπως στην κατασκευή πανίσχυρων μαγνητών. Το ίδιο συνέβη και με την έρευνα ως προς τις ιδιότητες των ημιαγωγών, η οποία και οδήγησε στην ανακάλυψη των τρανζίστορ και των φωτοβολταϊκών κυττάρων.

Όσον αφορά στην διαστημική έρευνα, από την άλλη, η τεράστια τεχνολογική και επιστημονική πρόοδος που σημειώθηκε τα τελευταία 60 περίπου χρόνια ωφέλησε κι αυτή την κοινωνία σε πολλούς και διαφορετικούς τομείς, όπως την υγεία και την φαρμακευτική, τις μεταφορές, την ασφάλεια, την ενέργεια και το περιβάλλον, την βιομηχανική παραγωγή κ.ά.. Τα τεχνολογικά προϊόντα που προέκυψαν από την διαστημική έρευνα περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων ηλιακά πάνελ, μπαταρίες μακράς διάρκειάς, βηματοδότες οι οποίοι λειτουργούν εκτός του σώματος του ασθενούς, νέες τεχνικές για την θεραπεία του καρκίνου, ασύρματα εργαλεία, την παραγωγή καθαρότερης ενέργειας, ελαφρά και υψηλής αντοχής μεταλλικά κράματα, τις φωτογραφικές μηχανές των κινητών τηλεφώνων, μικρά και εύχρηστα συστήματα καθαρισμού του νερού, παγκόσμια συστήματα έρευνας και διάσωσης, νέες βιοϊατρικές τεχνολογίες κ.ά..

Εκτός αυτών, ο καθαρισμός των αρτηριών από τα λίπη που επικάθονται στα τοιχώματά τους επιτυγχάνεται πλέον και με την βοήθεια ενός «ψυχρού» λέιζερ, που αναπτύχθηκε για την μελέτη της γήινης ατμόσφαιρας από το Διάστημα. Οι τεχνολογίες που αναπτύχθηκαν για την βελτίωση εικόνων της Σελήνης χρησιμοποιήθηκαν για να τελειοποιηθούν οι τις τεχνικές ιατρικής απεικόνισης. Επί πλέον, χάρη σε κάποια εξαρτήματα που σχεδιάστηκαν για τα ρομποτικά οχήματα Βίκινγκ που προσηδαφίστηκαν στον Άρη, εκατομμύρια διαβητικοί σε όλο τον κόσμο γλυτώνουν



Απεικόνιση εγκεφάλου NeuroSPECT (φωτογρ. NeuroSPECT Of Florida).

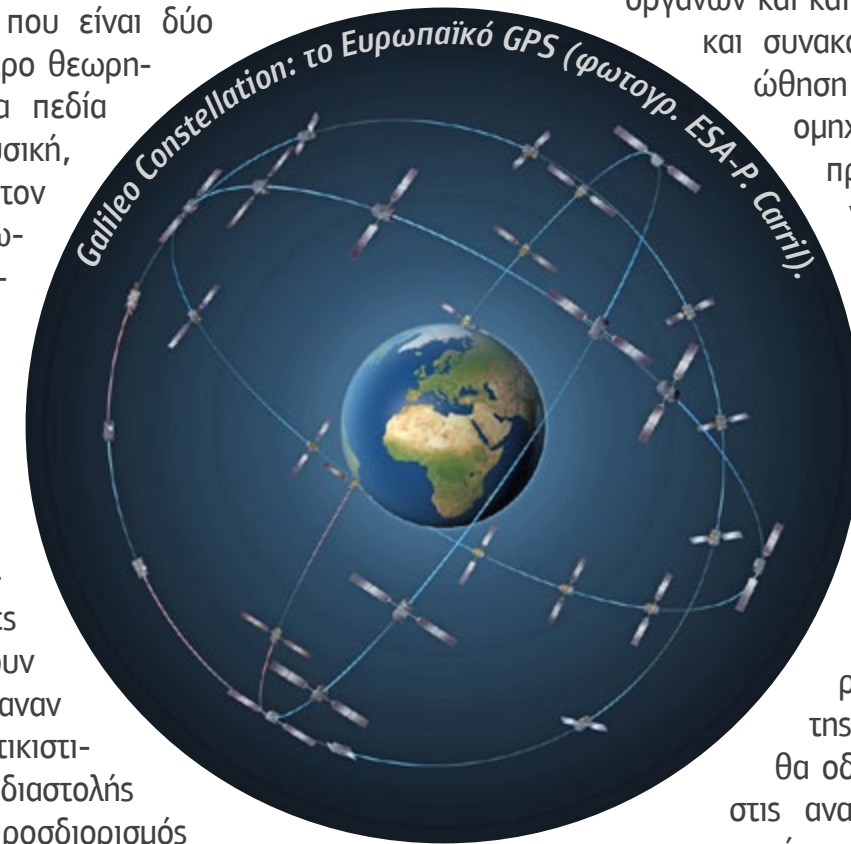
τις επώδυνες ημερήσιες ενέσεις τους, με την βοήθεια μιας μικροσκοπικής αντλίας, που αυτόματα απελευθερώνει στο σώμα τους τις απαραίτητες δόσεις ινσουλίνης. Η έρευνα που αυτή την στιγμή διεξάγεται στον ISS σε τομείς όπως η ανθρώπινη φυσιολογία, η βιολογία των φυτών, η επιστήμη των υλικών και η θεμελιώδης φυσική συνεχίζει και αυτή να διευρύνει τις γνώσεις μας με τρόπους που ωφελούν την κοινωνία. Για παράδειγμα, οι μελέτες της συμπεριφοράς του ανθρώπινου σώματος κατά την παραμονή του για μεγάλα χρονικά διαστήματα σε περιβάλλον μικροβαρύτητας διευρύνουν τις γνώσεις μας για την διαδικασία της γήρανσης. Το πιο κλασικό, όμως, και ευρέως διαδεδομένο παράδειγμα που αναδεικνύει τη σημασία της βασικής επιστημονικής έρευνας είναι ο Παγκόσμιος Ιστός, ο οποίος αναπτύχθηκε στο CERN από τον **Tim Berners-Lee**, με μοναδικό σκοπό την ανάλυση και ανταλλαγή δεδομένων και πληροφοριών μεταξύ των ερευνητών στην φυσική στοιχειωδών σωματίων. Σήμερα, η χρήση του Διαδικτύου έχει εξαπλωθεί σε όλες σχεδόν τις πτυχές της καθημερινότητας. Για παράδειγμα, στο ηλεκτρονικό εμπόριο επιχείρησης προς καταναλωτή, οι πωλήσεις μόνο για το 2013 ανήλθαν σε εκατοντάδες δισεκατομμύρια δολάρια. Τι οικονομικό κέρδος έχει το CERN από την παγκόσμια χρήση του Παγκόσμιου Ιστού; Απολύτως κανένα! Και αυτό γιατί ο Berners-Lee και οι συνάδελφοί του συνειδητά αποφάσισαν να προσφέρουν την ανακάλυψή τους ελεύθερα σε όλο τον κόσμο, χωρίς

κατοχυρώσεις ευρεσιτεχνίας και χωρίς δικαιώματα. Μας θυμίζει ο Llewellyn Smith ότι αυτή ακριβώς την σημασία της ακαδημαϊκής έρευνας είχε περιγράψει, ήδη από την δεκαετία του '60, και ο θεωρητικός φυσικός Hendrik Casimir (1909–2000), όταν έλεγε σε μια ομιλία του:

«Έχω ακούσει δηλώσεις ότι ο ρόλος της ακαδημαϊκής έρευνας στην πρόοδο και στην καινοτομία δεν είναι ιδιαίτερα σημαντικός. Πρόκειται ενδεχομένως για την πιο κραυγαλέα ανοησία πάνω στην οποία είχα την τύχη να σκοντάψω (...) Θα μπορούσε κανείς να αναρωτηθεί εάν τα βασικά κυκλώματα των ηλεκτρονικών υπολογιστών επινοήθηκαν από ανθρώπους που ήθελαν να φτιάξουν υπολογιστές. Στην πραγματικότητα ανακαλύφθηκαν στη δεκαετία του '30 από φυσικούς που αντιμετώπιζαν το πρόβλημα της μέτρησης πυρηνικών σωματιδίων, γιατί ενδιαφέρονταν για την πυρηνική φυσική. Θα μπορούσε να αναρωτηθεί κανείς εάν η πυρηνική ενέργεια εμφανίστηκε γιατί οι άνθρωποι ήθελαν να βρουν νέες πηγές ενέργειας ή εάν η ανάγκη για μια νέα πηγή ενέργειας θα οδηγούσε στην ανακάλυψη του πυρήνα του ατόμου. Ίσως – μόνο που δεν έγινε κατά αυτόν τον τρόπο (...) ή, εάν σε μια προσπάθεια να προσφέρει καλύτερη επικοινωνία, θα μπορούσε κάποιος να ανακαλύψει τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Δεν ανακαλύφθηκαν με αυτόν τον τρόπο. Βρέθηκαν από τον Hertz, που τόνιζε την ομορφιά των φυσικών νόμων και που στήριξε την έρευνά του στις θεωρητικές

μελέτες του Maxwell. Νομίζω ότι δεν υπάρχει σχεδόν κανένα παράδειγμα κάποιας καινοτομίας στον 20^ο αιώνα που να μην χρωστά κατ' αυτόν τον τρόπο την ύπαρξή της στη βασική επιστημονική σκέψη».

Ακόμα και η Ειδική και η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, που είναι δύο από τα περισσότερο θεωρητικά και δυσνόητα πεδία έρευνας στην φυσική, και που γι' αυτόν τον λόγο πολλοί θεωρούν ότι δεν μπορούν να αξιοποιηθούν με κάποιον πρακτικό και απτό τρόπο, οδήγησαν και αυτές σε μια ωφέλιμη εφεύρεση. Εάν, για παράδειγμα, οι εταιρείες που κατασκευάζουν τα GPS δεν ελάμβαναν υπόψη τους το σχετικιστικό φαινόμενο της διαστολής του χρόνου, ο προσδιορισμός της θέσης ενός οχήματος έπειτα από 2 μόλις λεπτά θα ήταν λανθασμένος, ενώ τα σφάλματα θεσιθεσίας θα συνέχιζαν να συσσωρεύονται με ρυθμό 10 km την ημέρα, με αποτέλεσμα το όλο σύστημα πλοήγησης να είχε καταστεί άχρηστο. Τέλος, ερευνητικά πεδία από τον χώρο της



αστροφυσικής και της κοσμολογίας, τα οποία και αυτά θεωρούνται άγονα και αναξιοποίησιμα από πολλούς, συνεισφέρουν ουσιαστικά στην τεχνολογική και οικονομική πρόοδο, κυρίως σε πρώτη φάση, με τις απαιτήσεις που έχουν για την κατασκευή υψηλής ποιότητας υπερευαίσθητων οργάνων και καινοτομικών συσκευών και συνακόλουθα στην μεγάλη ώθηση που δίνουν στην βιομηχανία. Εξ άλλου, δεν πρέπει να ξεχνάει κανείς ότι το ίδιο άγονο και αναξιοποίησιμα θεωρούνταν τα περισσότερα πεδία έρευνας και οι περισσότερες από τις μεγάλες ανακαλύψεις στη φυσική όταν πρωτοεμφανίστηκαν. Ποιος, για παράδειγμα, θα περίμενε ότι η ανάπτυξη της κβαντικής φυσικής θα οδηγούσε στα laser και στις αναρίθμητες εφαρμογές τους, από την ιατρική μέχρι τα CD;

Με δύο λόγια δεν υπάρχει καμιά αμφιβολία ότι, χωρίς τη συμβολή της θεμελιώδους επιστημονικής έρευνας, τα επιτεύγματα του τεχνολογικού μας πολιτισμού και οι οικονομικές, υγειονομικές και πρακτικές απολαβές που απορρέουν από αυ-

τόν θα ήταν δραστικά περιορισμένες. Κι όμως, βρισκόμαστε ακόμα στην αρχή. Ο Διεθνής Διαστημικός Σταθμός, που άρχισε να συναρμολογείται το 1998, μας δίνει πλέον την δυνατότητα να δοκιμάζουμε για μεγάλο χρονικό διάστημα τις αντοχές μας μακριά από το γήινο περιβάλλον, προετοιμάζοντάς μας και για τις πρώτες επανδρωμένες αποστολές του μέλλοντος. Πού θα μας οδηγήσει αυτή η συναρπαστική περιπέτεια του Διαστήματος; Κανείς δεν το γνωρίζει ακόμα. Αυτό, όμως, που είναι βέβαιο είναι ότι όσο θα συνεχίζεται η προσπάθειά μας να αποκρυπτογραφήσουμε τα μυστικά του Σύμπαντος, τα οφέλη της διαστημικής έρευνας θα βελτιώνουν την ζωή όλων ◀



Ο Διεθνής Διαστημικός Σταθμός,
11 Ιουνίου 2008 (φωτογρ. NASA).

Βιβλιογραφία

- ▶ Αυγολούπης, Σταύρος Ι., *Παρατηρησιακή αστρονομία*, Παχούδης - Γιαπούλης, 1993.
- ▶ Δανέζης, Μάνος και Θεοδοσίου, Στράτος, *Το σύμπαν που αγάπησα: εισαγωγή στην αστροφυσική*, Αθήνα: Διάυλος, 1999.
- ▶ Σιμόπουλος, Διονύσιος Π., *Η βιογραφία του σύμπαντος*, Αθήνα: Ερευνητές, 2008.
- ▶ Arnold, H. J. P. ed. *Man in space: an illustrated history of space flight*, Smithmark, 1993.
- ▶ Cesarsky, Catherine, *Η περιπέτεια του σύμπαντος από τον Γαλιλαίο ως σήμερα*, Αθήνα: Δημοσιογραφικός Οργανισμός Λαμπράκη / Ελευθεροτυπία, 2009.
- ▶ Charles, Philip A. και Seward, Frederick D., *Exploring the X-ray universe*, Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- ▶ Christensen, Lars Lindberg, Fosbury, R. A. E. και Hurt, Robert, *Hidden universe*, Wiley/VCH, c2009.
- ▶ Cotton, William R., *Human impacts on weather and climate*, Cambridge University Press, 2007.
- ▶ Deacon, Margaret, *Understanding the oceans: a century of ocean exploration*, UCL Press, 2001.
- ▶ Dyson, Marianne J., *Space and astronomy: decade by decade*, New York: Facts On File, c2007.
- ▶ Fischer, Daniel και Duerbeck, Hilmar *Hubble: a new window to the universe*, New York: Springer/Copernicus, 1996.
- ▶ Fischer, Daniel και Duerbeck, Hilmar, *Hubble revisited: new images from the discovery machine*, New York: Springer / Copernicus, 1998.
- ▶ Fox, Karen C., *Einstein A to Z*, Wiley, c2004.
- ▶ Freeman, Marsha, *Challenges of human space exploration*, Springer, Praxis, 2000.
- ▶ Galison, Peter Louis, *Einstein for the 21st century: his legacy in science, art and modern culture*, Princeton University Press, c2008.
- ▶ Kennefick, Daniel, *Traveling at the speed of thought: Einstein and the quest for gravitational waves*, Princeton University Press, c2007.
- ▶ Kerrod, Robin, *Διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble: ο καθρέφτης του σύμπαντος*, Αθήνα: Σαββάλας, c2003.
- ▶ Mitton, Jacqueline, *Αστέρια και πλανήτες*, Αθήνα: Σαββάλας, c2005.
- ▶ Montwill, Alex, *Let there be light: the story of light from atoms to galaxies*, Imperial College Press, c2008.
- ▶ Moore, Patrick, *Eyes on the universe: the story of the telescope*, London, Berlin: Springer, 1997.
- ▶ Petersen, Carolyn C., Brandt, John C., *Visions of the cosmos*, Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- ▶ Richards, Austin, *Alien vision: exploring the electromagnetic spectrum with imaging technology*, SPIE, c2011.
- ▶ Sharpe, Mike, *Space: the ultimate frontier*, Surrey, UK: Taj Books, 2006.
- ▶ Schilling, Govert, *Eyes on the skies: 400 years of telescopic discovery*, Wiley/VCH, c2009.
- ▶ Tucker, Wallace και Tucker, Karen, *Revealing the universe: the making of the Chandra X-ray Observatory*, Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 2001.
- ▶ Verger, Fernand, *The Cambridge encyclopedia of space: missions, applications and exploration*, Cambridge University Press, 2003.
- ▶ Watson, Fred, *Stargazer: the life and times of the telescope*, Cambridge: Da Capo, 2005.
- ▶ Weiss, Richard J., *A brief history of light and those that lit the way*, World Scientific, 1996.
- ▶ Zimmerman, Robert, *The universe in a mirror: the saga of the Hubble space telescope and the visionaries who built it*, Princeton University Press, c2008.

Συντελεστές Παράστασης

αφήγηση

ΑΦΡΟΔΙΤΗ ΣΗΜΙΤΗ

σκηνοθετική επιμέλεια

ANNETTE SOTHERAN-BARNETT

To Space and Back

MAX CROW

We Are Astronomers

σκηνοθετική προσαρμογή

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΣΙΜΟΠΟΥΛΟΣ

επιστημονική επιμέλεια & κείμενο αφήγησης

ΑΛΕΞΗΣ ΔΕΛΗΒΟΡΙΑΣ

μουσική

ΕΥΓΕΝΙΑ ΜΑΝΩΛΙΔΟΥ

σχεδιασμός & μίξη ήχου

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ Κ. ΚΑΤΣΑΡΗΣ

διεύθυνση παραγωγής

ΜΑΝΟΣ ΚΙΤΣΩΝΑΣ

σύμβουλος παραγωγής

ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ Π. ΣΙΜΟΠΟΥΛΟΣ

post-production video

ΓΙΑΝΝΗΣ ΒΑΜΒΑΚΑΣ

fulldome technical support

ΦΙΛΙΠΠΟΣ ΛΟΥΒΑΡΗΣ

ΧΡΗΣΤΟΣ ΧΡΗΣΤΟΓΙΩΡΓΟΣ

graphic design

ΕΥΓΕΝΙΑ ΣΤΑΒΑΡΗ

ΧΡΥΣΑΝΘΗ ΒΑΖΟΠΟΥΛΟΥ

SKY-SKAN

Nashua, New Hampshire

executive producers

STEVEN T. SAVAGE

JACK WHITE

senior compositor & colorist

SCOTT WYMAN

lead CG artist

TROY WHITMER

digital sky sequences

ROB CALUSDIAN

MIKE SPERRY

ED WHITE

CLAUDE GANTER

time-lapse photography & video

STEVEN T. SAVAGE – D.O.P.

AUDREY SICA

NATIONAL SPACE CENTRE

Leicester, UK

producer

PAUL MOWBRAY

lead CG artist & stereographer

AARON BRADBURY

CG artists

PHILIP DAY

IAN SMITH

LIAM WARDLE

PAUL MOWBRAY

MAX CROW

MIRAGE 3D STUDIO

The Hague, Netherlands

producer & animation director

ROBIN SIP

senior animators

KEES VAN DER VIJVER

MATHIJS BRUSSAARD

PETER GEERTS

animators

RICK VAN REENEN

JOHANNES BEVELANDER

TONI VAN VELZEN

STIJN CAN KOOPEREN

BRYAN NOTER

JEROEN TANIS

RICK VAN DEN BERG

WIJNAND KOREMAN

ALEXANDER HAUG

MAURICE VAN RIJSINGE

MARK VERKERK

MASTER FILMS

Toulouse, France

producer

DIDIER GROS JEAN

camera chief

EMMANUEL CAMBIOR

camera assistant

CHRISTINA ZUMSTEIN

time-lapse photography

STEPHANE GUIARD, ESO

3D artists

THIERRY CASTAGNE

OLIVIER GAIMARD

DAVID BIAU

ANTHONY GOURO

REMY PAROT

EVANS & SUTHERLAND

Salt Lake City, Utah

executive producer

KIRK JOHNSON

producers

TERENCE MURTAGH

MICHAEL DAUT

art & animation director

DON DAVIS

supervising animators

KEN CARLSON

MARTY SISAM

digistar realtime astronomy captures

KAREN KLAMCZYNSKI

post-production

BRYCE BUCHANAN

3FX MEDICAL ANIMATION & VISUAL MEDIA

Blue Bell, Pennsylvania

producer

JODY BORTNER

CG artists

JOEL DUBIN

GART WELCH

post-production

ROCKY WEINSTOCK

art director

MITCH WISHART

medical advisor

KARTIK MOHAN

fulldome & post-production video services

ΕΥΓΕΝΙΔΕΙΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ

post-production audio services

STARGAZER AUDIO

Ιδρύματος Ευγενίδου

θερμές ευχαριστίες

ESA

NASA

παραγωγή

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ © 2015





ΣΕΛΙΔΟΠΟΙΗΣΗ - ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ ΕΚΔΟΣΕΩΣ: ΕΚΔΟΤΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ