



ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ  
ΝΕΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ

Πώς γεννιούνται τα άστρα; Πώς παράγουν τις τεράστιες ποσότητες ενέργειας που εκλύουν; Τι είναι αυτό που καθορίζει τη μετέπειτα εξελικτική τους πορεία και τι είδους αστρικό λείψανο θα αφήσουν πίσω τους με τον θάνατό τους; Η προσπάθεια να απαντηθούν τα ερωτήματα αυτά, αλλά και πολλά άλλα, αποτελεί την αφετηρία για ένα συναρπαστικό ταξίδι «Στα μονοπάτια των Άστρων», τη νέα ψηφιακή παραγωγή του Ευγενιδείου Πλανηταρίου. Πρόκειται για ένα συναρπαστικό ταξίδι στον χώρο και στον χρόνο, που θα μας αποκαλύψει ότι στα μονοπάτια των άστρων του Γαλαξία μας, αλλά και κάθε άλλου γαλαξία, δεν θα βρούμε έναν ήρεμο και αναλλοίωτο κόσμο, αλλά τις συχνά βίαιες φυσικές διεργασίες μιας αέναης γένεσης και καταστροφής. Πραγματικά, χάρη στην πρόοδο της αστρονομικής έρευνας και της διαστημικής επιστήμης, χάρη στην εξέλιξη των οργάνων και εργαστηρίων που διαθέτουμε, οι θαυμαστοί, παράξενοι κόσμοι του Γαλαξία μας παρελαύνουν μπροστά στα έκθαμβα μάτια μας.



Οδηγός Παράστασης

# ΣΤΑ ΜΟΝΟΠΑΤΙΑ ΤΩΝ ΑΣΤΡΩΝ

ΔΙΟΝΥΣΗ Π. ΣΙΜΟΠΟΥΛΟΥ  
Διευθυντή Ευγενιδείου Πλανηταρίου

ΑΛΕΞΗ Α. ΔΕΛΗΒΟΡΙΑ  
Αστρονόμου Ευγενιδείου Πλανηταρίου



ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ  
ΝΕΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ

Οδηγός Παράστασης  
**ΣΤΑ ΜΟΝΟΠΑΤΙΑ  
ΤΩΝ ΑΣΤΡΩΝ**

ΔΙΟΝΥΣΗ Π. ΣΙΜΟΠΟΥΛΟΥ

Διευθύντῃ Ευγενιδείου Πλανηταρίου

ΑΛΕΞΗ Α. ΔΕΛΗΒΟΡΙΑ

Αστρονόμου Ευγενιδείου Πλανηταρίου

ΑΘΗΝΑ 2013



## Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	4
 1. Η Εξέλιξη του Σύμπαντος.....	7
 2. Σμήνη και υπερσμήνη γαλαξιών.....	21
 3. Ταξιδεύοντας στον Γαλαξία.....	33
 4. Κοσμικά σύννεφα και αστρογένεση.....	43
 5. Η λάμψη των άστρων.....	55
 6. Ο αγγελιαφόρος των άστρων.....	65
 7. Η ταξινόμηση των άστρων.....	75
 8. Κόκκινοι γίγαντες και άσπροι νάνοι.....	83
 9. Αστρικές εκρήξεις και αστρικά λείψανα.....	93
 10. Μαύρες τρύπες.....	103
 11. Επίλογος: Ταξιδεύοντας στα άστρα.....	113
Βιβλιογραφία.....	122
Συντελεστές παράστασης.....	123

Κάθε βράδυ, όταν έχει ξαστεριά, κοιτάζοντας ψηλά στον ουράνιο θόλο τα πάντα μοιάζουν γαλήνια και ειρηνικά. Κι όμως, εάν μπορούσαμε να ταξιδέψουμε στο αχανές Διάστημα, δεν θα βρίσκαμε έναν ήρεμο και αναλλοίωτο κόσμο, αλλά αντίθετα τις συχνά βίαιες φυσικές διεργασίες μιας αένας γένεσης και καταστροφής. Πραγματικά, χάρη στην πρόοδο της αστρονομικής έρευνας και της διαστημικής επιστήμης, χάρη στην εξέλιξη των οργάνων και εργαστηρίων που διαθέτουμε, οι θαυμαστοί, παράξενοι κόσμοι του Γαλαξία μας παρελαύνουν μπροστά στα έκθαμβα μάτια μας. Η νέα μας παράσταση με την οποία γιορτάζουμε τα δέκα χρόνια του Νέου Ψηφιακού Πλανηταρίου του Ιδρύματος Ευγενίδου, είναι ένα ταξίδι στα μυστικά «Μονοπάτια των Άστρων» του Γαλαξία μας. Δεν είναι φυσικά δυνατόν να αποδοθεί με λόγια η εικόνα του Γαλαξία μας: δεκάδες δισεκατομμύρια άστρα, κίτρινα, κόκκινα, μπλε, διπλά και πολλαπλά, αστρικά σμήνη, νεφελώματα και σφαιρωτά σμήνη, αποτελούν μια τεράστια συγκέντρωση με υλικά 200 περίπου δισεκατομμυρίων άστρων σαν τον Ήλιο.

Όπως ήταν εμφανές στους περίπου 3.000.000 θεατές που έχουν παρακολουθήσει τα τελευταία 10 χρόνια τις νέες μας ψηφιακές παραστάσεις, το βασικό πλεονέκτημα του Νέου Ψηφιακού Πλανηταρίου είναι η δυνατότητά του να δημιουργεί την αίσθηση της ενσωμάτωσης στον εικονικό χώρο, την αίσθηση δηλαδή ότι ο θεατής βρίσκεται πραγματικά στον προβαλλόμενο κόσμο, περιβαλλόμενος από τις εικόνες και τους ήχους του.

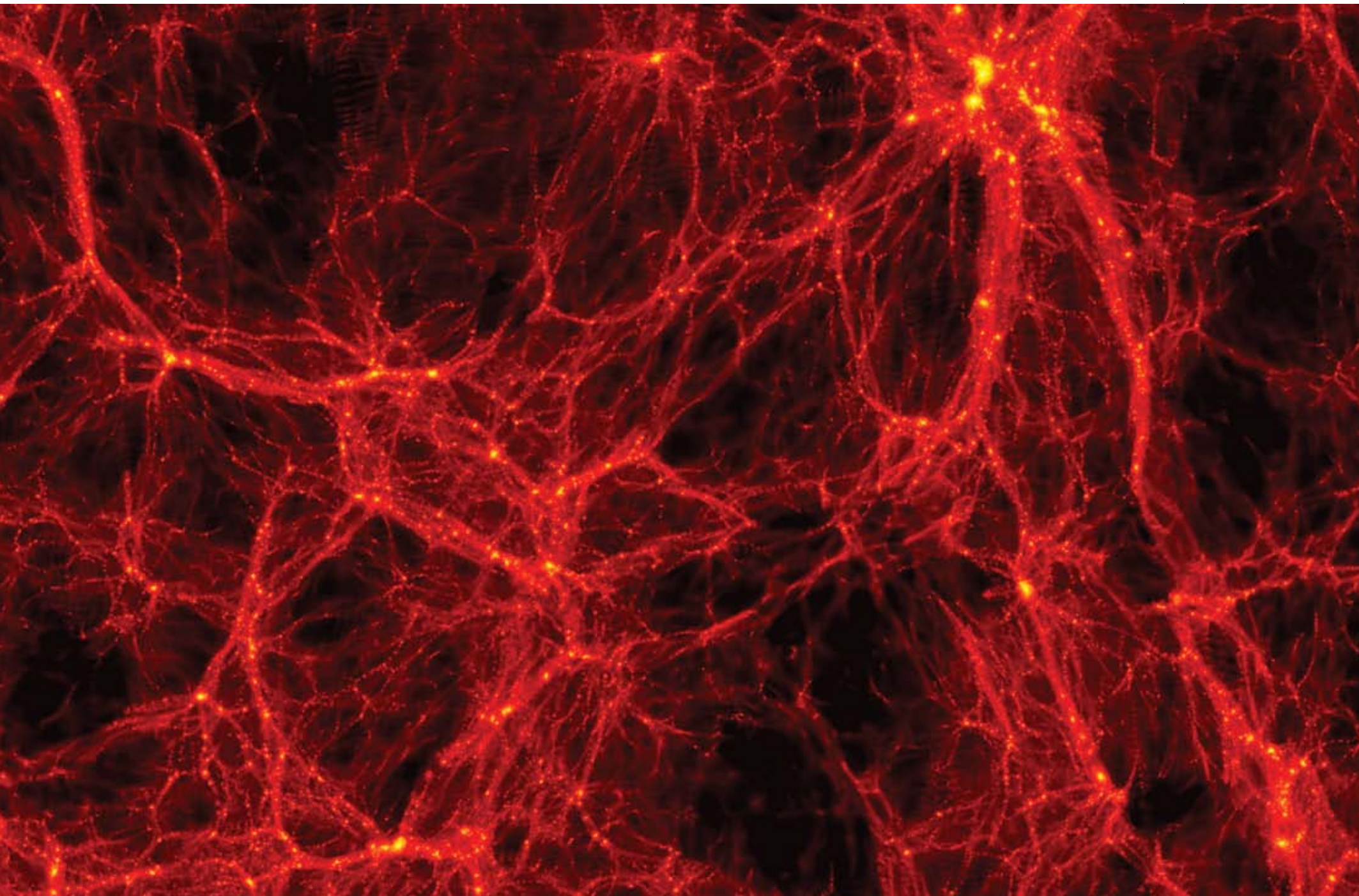
Το Νέο Ψηφιακό Πλανητάριο, είναι ένα από τα μεγαλύτερα και καλύτερα εξοπλισμένα ψηφιακά πλανητάρια στο κόσμο και διαθέτει όλες τις δημιουργικές και τεχνικές δυνατότητες που παρέχουν τα σύγχρονα οπτικοακουστικά μέσα και οι νέες τεχνολογίες, συνδυάζοντάς τις για να αφηγηθεί την ιστορία της επιστήμης μ' έναν συναρπαστικό τρόπο. Ο ρόλος του Νέου Ψηφιακού Πλανηταρίου είναι δηλαδή ζωτικός, αφού έχει ως στόχο την βελτίωση της ποιότητας της επι-

στημονικής επιμόρφωσης του κοινού της χώρας μας, την γνωστοποίηση των επιτευγμάτων της επιστήμης και της τεχνολογίας στο ευρύ κοινό και την εξοικείωση του κόσμου με τη φύση της επιστημονικής έρευνας.

Ο «Οδηγός» αυτός, όπως και οι προηγούμενοι, αποσκοπεί στην παρουσίαση περισσότερων πρόσθετων πληροφοριών απ' όσες θα ήταν δυνατόν να παρουσιαστούν σ' ένα σενάριο 40 λεπτών. Ακόμη και σ' αυτήν την περίπτωση, δεν είναι δυνατόν να δώσουμε όλες τις πιθανές απαντήσεις και πληροφορίες που ίσως κάποιος θα ήθελε να μάθει γύρω από τα διάφορα θέματα που παρουσιάζονται. Παρ' όλα αυτά ελπίζουμε ότι το περιεχόμενό του θα βοηθήσει τους επισκέπτες μας να αποκομίσουν μεγαλύτερα οφέλη από την εμπειρία τους στη διάρκεια της παράστασης.

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

Διονύσης Π. Σιμόπουλος  
Διευθυντής Ευγενιδείου Πλανηταρίου



## 1. Η Εξέλιξη του Σύμπαντος

Ποιοι είναι οι νόμοι που διέπουν τη «λειτουργία» του Σύμπαντος στο σύνολό του; Αποφεύγοντας την ιστορική ανασκόπηση της προσπάθειας του ανθρώπου να κατανοήσει τον κόσμο και τα φυσικά φαινόμενα, η οποία ξεκίνησε απ' τους αρχαίους Έλληνες φυσικούς φιλοσόφους, μεταφερόμαστε στις αρχές του προηγούμενου αιώνα, όταν η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας δεν είχε διατυπωθεί ακόμα, σε μια εποχή κατά την οποία σύμφωνα με την κοινά αποδεκτή κοσμοθεωρία, το Σύμπαν ήταν σταθερό, αιώνιο και αμετάβλητο. Ένα καθαρά «Νευτώνειο» Σύμπαν, όπου κυριαρχούσε η κλασική μηχανική και η βαρυτική θεωρία του Νεύτωνα.

Και τότε ο **Άλμπερτ Αϊνστάιν** (1879-1955), η κορυφαία ίσως επιστημονική διάνοια όλων των εποχών, έχοντας ήδη από το 1905 δώσει το έναυσμα για την ανάπτυξη της Κβαντικής Φυσικής μέσα από την εξήγηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, έχοντας ήδη μεταβάλει ριζικά την αντίληψή μας για τον χώρο, τον χρόνο, την ύλη και την ενέργεια, με την **Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας**, περίπου 10 χρόνια αργότερα αναμόρφωσε πλήρως και την εικόνα μας για τη βαρύτητα. Και πραγματικά, με τη δημοσίευση της **Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας** το 1916, ο Αϊνστάιν έδωσε την αφορμή για μια επιστημονική επανάσταση, ο απόηχος της οποίας κρατά μέχρι σήμερα. 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 από 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 την καμπύλωση που προκαλεί η παρουσία της ύλης στη δομή του τετραδιάστατου χωροχρόνου. Και ο χωροχρόνος, δυναμικός πλέον και όχι απόλυτος, καθορίζεται με τη σειρά του την τροχιά κάθε αντικειμένου που κινείται εντός του, από αυτόν ακρι-

βώς 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».

Παρόλο, όμως, τον «οργασμό» των νέων επαναστατικών ιδεών που αναπτύσσονταν την εποχή εκείνη μέσα στα πλαίσια της **κβαντικής φυσικής**, δηλαδή της φυσικής του μικρόκοσμου, οι αντιλήψεις της επιστημονικής κοινότητας για το Σύμπαν παρέμεναν ανεξήγητα συντηρητικές. Μέσα σε αυτό το γενικότερο κλίμα απόρριψης μιας κοσμολογικής εξέλιξης, και αυτός ακόμη ο Αϊνστάιν, ήταν αδύνατο να μείνει ανεπηρέαστος. Πιστεύοντας και ο ίδιος ακράδαντα σε ένα στατικό Σύμπαν και



Ο Αϊνστάιν στο Αστεροσκοπείο Wilson το 1931, όπου δύο χρόνια νωρίτερα ο Edwin Hubble απέδειξε τη διαστολή του Σύμπαντος.

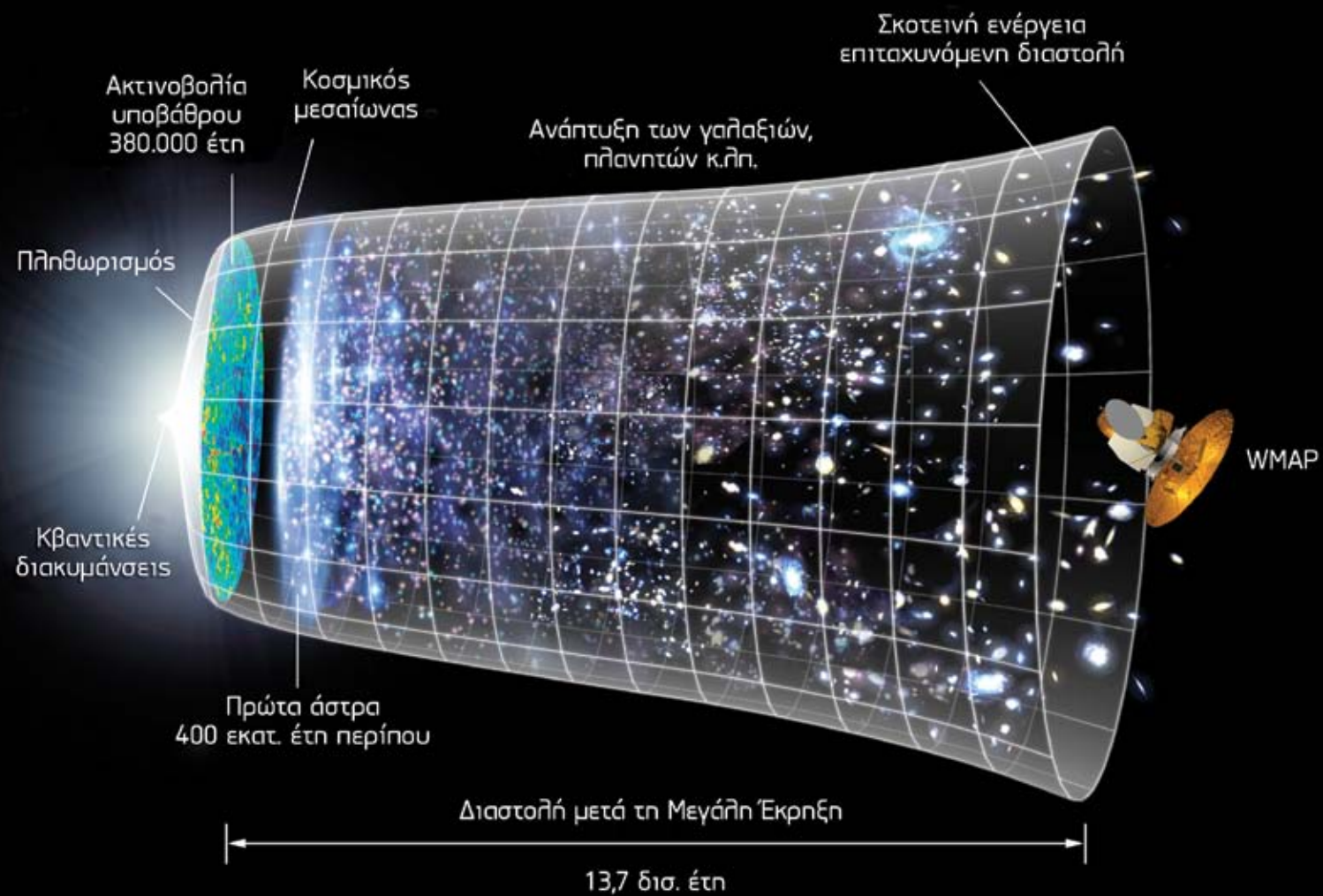
συνειδητοποιώντας ότι η επίλυση των εξισώσεων της Γενικής Σχετικότητας αναδεικνύει και δυναμικές λύσεις, με άλλα λόγια «επιτρέπει» την ύπαρξη είτε διαστελλόμενων είτε συστέλλομενων συμπάντων, ο Αϊνστάιν προσπάθησε «τεχνητά» να τις «ακυρώσει» εισάγοντας στις εξισώσεις του έναν ακόμα όρο, γνωστό σήμερα ως **κοσμολογική σταθερά**. Η κοσμολογική σταθερά αντιπροσώπευε μια μορφή ενέργειας που διαπότηζε όλο τον χώρο, και η οποία είχε την παράξενη ιδιότητα να «εξουδετερώνει» την ελκτική επίδραση της βαρύτητας που έτεινε να το συρρικνώσει, ακριβώς κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να οδηγήσει σε ένα στατικό Σύμπαν. Σιγά-σιγά όμως η εικόνα των επιστημόνων για το Σύμπαν αρχίζει να αλλάζει.

Κάθε φορά που μια νέα θεωρία έρχεται στο προσκήνιο, οι επιστήμονες «αναγκάζονται» να καταφύγουν σε ορισμένες «βάσιμες παραδοχές», που απλοποιούν με κάποιο τρόπο τους υπολογισμούς τους. Προκειμένου, λοιπόν, να εφαρμοσθεί η νέα αυτή βαρυτική θεωρία στο «όλο» Σύμπαν, απαιτούσε μια θεμελιώδη παραδοχή αναφορικά με τον τρόπο που η ύλη κατανέμεται εντός του. Η απλούστερη από αυτές ήταν η υιοθέτηση του επονομαζόμενου **Κοσμολογικού Αξιώματος**, η «αποδοχή» δηλαδή ότι σε πάρα πολύ μεγάλες κλίμακες η κατανομή της ύλης στο Σύμπαν είναι παντού και προς κάθε κατεύθυνση η ίδια, με άλλα λόγια ότι το Σύμπαν είναι **ομοιογενές** και **ισότροπο**. Έτσι, ο Ρώσος μαθηματικός **Alexander Friedmann** (1888-1925) δημοσιεύει το 1922 και το 1924 λύσεις των εξισώσεων της Γενικής Σχε-

τικότητας, οι οποίες αντιστοιχούν σε μη στατικά Σύμπαντα. Ούτε όμως ο Αϊνστάιν ούτε κανένας άλλος θα ενδιαφερθεί ιδιαίτερα για το επιστημονικό έργο του Friedmann, ο οποίος θα πεθάνει έναν χρόνο αργότερα από τύφο, μην έχοντας τη δυνατότητα να υποστηρίξει και να γνωστοποιήσει ευρέως τις θεωρίες του. Ανεξάρτητα από τον Friedmann, ο Βέλγος αστρονόμος και ιερέας **Georges Lemaître** (1894-1966) θα καταλήξει το 1927 στο ίδιο ακριβώς συμπέρασμα, ενώ 4 χρόνια αργότερα θα προχωρήσει ακόμη περισσότερο, διατυπώνοντας την άποψη ότι το Σύμπαν προήλθε από ένα υπέρπυκνο και υπέρθερμο «αρχέγονο



Ο Βέλγος αστρονόμος Georges Lemaître.



Συνοπτική απεικόνιση της εξέλιξης του Σύμπαντος (NASA/WMAP Science Team).

άτομο» ενέργειας. Οι θεωρητικές βάσεις πάνω στις οποίες θεμελιώθηκε η **Θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης** είχαν πλέον τεθεί.

Στα επόμενα χρόνια λοιπόν, και χάρη στις πρωτοποριακές μελέτες κορυφαίων ερευνητών όπως οι Friedmann, Lemaître, **Howard Robertson** (1903-1961), **Arthur Walker** (1909-2001), **George Gamow** (1904-1968), **Ralph Alpher** (1921-2007), **Robert Herman** (1914-1997) και πολλών άλλων, άρχισε σιγά-σιγά να αποκρυσταλλώνεται η «κλασική» μορφή της νέας θεωρίας. Σύμφωνα μ' αυτήν, εάν «προβάλλουμε» την κοσμική ταινία της εξέλιξης του Σύμπαντος προς τα πίσω, όταν οι γαλαξίες βρίσκονταν πλησιέστερα ο ένας με τον άλλον, όταν το ίδιο το Σύμπαν γινόταν ομοιόμορφο και νεότερο, ομοιόμορφο και θερμότερο, όταν η ίδια η ύλη μπορούσε να υπάρξει μόνο ως μια υπέρθερμη «σούπα» στοιχειωδών σωματιδίων, θα φτάσουμε σε ένα «σημείο» όπου η πυκνότητα και η θερμοκρασία του γίνονται άπειρες, όπου ο χώρος και ο χρόνος παύουν να έχουν νόημα. Πρόκειται για τη στιγμή της Μεγάλης Έκρηξης, που πριν από σχεδόν 14 δισεκατομμύρια χρόνια δημιούργησε τον ίδιο τον χώρο και τον χρόνο, καθώς και όλη την ύλη και την ενέργεια που περιέχει. Από τη στιγμή αυτή και μετά, το Σύμπαν συνεχίζει να διαστέλλεται με επιβραδυνόμενο ρυθμό εξαιτίας της βαρύτητας που τείνει να «φρενάρει» την επέκτασή του, ενώ η θερμοκρασία του συνεχώς μειώνεται. Με εξαίρεση τα πρώτα κλάσματα του δευτερολέπτου μετά την «εμφάνισή» του, η θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης περιγράφει με μεγάλη ακρίβεια τη

μετέπειτα εξέλιξή του, ανάλογα βέβαια με τη συνολική ποσότητα ύλης-ενέργειας που περιέχει, η οποία παράλληλα προσδιορίζει και τη συνολική του καμπυλότητα.

Έτσι, εάν η πραγματική ενεργειακή πυκνότητα του Σύμπαντος είναι ίση με μια συγκεκριμένη **κρίσιμη πυκνότητα**, το Σύμπαν είναι **επίπεδο**, δηλαδή έχει μηδενική καμπυλότητα και περιγράφεται από τη γνωστή σε όλους Ευκλείδεια γεωμετρία. Ένα τέτοιο Σύμπαν θα διαστέλλεται επ' άπειρο, η ταχύτητα διαστολής του, όμως, σε άπειρο χρόνο θα πλησιάζει το μηδέν. Εάν η πυκνότητα ύλης του Σύμπαντος είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη πυκνότητα, τότε το Σύμπαν είναι **κλειστό**, έχει δηλαδή θετική καμπυλότητα και η γεωμετρία που το περιγράφει είναι σφαιρική, ενώ ο ρυθμός διαστολής του θα μηδενιστεί σε πεπερασμένο χρόνο και θα ακολουθήσει συστολή. Τέλος, εάν η πυκνότητα του Σύμπαντος είναι μικρότερη από την κρίσιμη πυκνότητα, ο ρυθμός διαστολής του μειώνεται συνεχώς, αλλά δεν μηδενίζεται ποτέ. Σ' αυτή την περίπτωση το Σύμπαν είναι **ανοικτό**, η γεωμετρία του είναι υπερβολική και το Σύμπαν έχει αρνητική καμπυλότητα, όπως η επιφάνεια μιας σέλας.

Παρόλο που δεν γνωρίζουμε με μεγάλη ακρίβεια την πραγματική μέση πυκνότητα της ύλης του Σύμπαντος, γνωρίζουμε πλέον ότι αυτή πρέπει να βρίσκεται πάρα πολύ κοντά στην κρίσιμη τιμή της και ως εκ τούτου ότι το Σύμπαν είναι επίπεδο. Σήμερα, γνωρίζουμε επίσης ότι οι βασικές μορφές ύλης-ενέργειας που περιέχει είναι 4: η **ακτινοβο-**

**λία, η βαρυονική ύλη, η σκοτεινή ύλη και η σκοτεινή ενέργεια.** Η ακτινοβολία αποτελείται από σωματίδια χωρίς ή με ελάχιστη μάζα, τα οποία κινούνται με ταχύτητες ίσες ή παραπλήσιες μ' αυτήν του φωτός, όπως τα φωτόνια και τα νετρίνα, ενώ η βαρυονική ύλη αντιστοιχεί στη «συνηθισμένη» ύλη που βλέπουμε γύρω μας, η οποία συνίσταται από πρωτόνια, νετρόνια και ηλεκτρόνια. Η σκοτεινή ύλη είναι μια άγνωστη μορφής ύλη, που δεν αλληλεπιδρά με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και η οποία, όπως θα δούμε, είναι απαραίτητη για τον σχηματισμό των δομών μεγάλης κλίμακας στο Σύμπαν, ενώ η σκοτεινή ενέργεια είναι μια εξίσου άγνωστη μορφή ενέργειας που προκαλεί την επιταχυνόμενη διαστολή του και η ύπαρξή της ανακαλύφθηκε το 1998. Με βάση τη μορφή ύλης-ενέργειας που κάθε φορά «κυριάρχει», καθορίζοντας την εξέλιξη του Σύμπαντος, οι κοσμολόγοι διαιρούν την ιστορία του Σύμπαντος σε 3 κοσμικές «εποχές». Έτσι, από τη γέννησή του και για τα επόμενα 50.000 χρόνια, κυρίαρχη μορφή ύλης-ενέργειας ήταν η ακτινοβολία, και το Σύμπαν διήνυε την **Εποχή της Ακτινοβολίας**. Στη συνέχεια, κατά τη διάρκεια της **Εποχής της Ύλης**, κυριάρχησε η ύλη, ενώ τα τελευταία 3-4 δισεκατομμύρια χρόνια διανύουμε την **Εποχή της Σκοτεινής Ενέργειας**.

Η θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης επαληθεύεται μέσα από ορισμένες θεμελιώδεις αστρονομικές παρατηρήσεις. Η **πρώτη** απ' αυτές πραγματοποιήθηκε το 1929 από τον Αμερικανό αστρονόμο **Edwin Hubble** (1889-1953), ο οποίος κατάφερε να απο-

δείξει τη διαστολή του Σύμπαντος, συνειδητοποιώντας ότι οι γαλαξίες απομακρύνονται από εμάς με ταχύτητες ανάλογες της απόστασής τους. Αυτό φυσικά δεν σημαίνει ότι κατέχουμε κάποια ιδιαίτερη θέση στο Σύμπαν, αφού οπουδήποτε αλλού και αν βρισκόμασταν, θα παρατηρούσαμε ακριβώς το ίδιο πράγμα. Το αναμφισβήτητο αυτό γεγονός υποχρέωσε τον Αϊνστάιν να αποσύρει από τις εξισώσεις της Γενικής Σχετικότητας την κοσμολογική σταθερά, παραδεχόμενος ότι η εισαγωγή της ήταν «η μεγαλύτερη γκάφα της ζωής του». Ίσως, όμως και να μην ήταν...

Η **δεύτερη** θεμελιώδης παρατήρηση αφορά στην εποχή της αρχέγονης **πυρηνοσύνθεσης**, στη διάρκεια της οποίας σχηματίστηκαν τα ελαφρύτερα στοιχεία του περιοδικού πίνακα. Η θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης προβλέπει ότι μόλις 1 δευτερόλεπτο μετά την «εμφάνισή» του, το Σύμπαν ήταν μια υπέρθερμη «σούπα» πρωτονίων, νετρονίων, ηλεκτρονίων, ποζιτρονίων (το αντισωματίδιο του ηλεκτρονίου), φωτονίων (δηλαδή σωματιδίων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας) και νετρίνων (θεμελιωδών σωματιδίων της ύλης που αλληλεπιδρούν ελάχιστα με τη συνηθισμένη ύλη), με θερμοκρασία  $10^{10}$  °C. Καθώς, όμως, το Σύμπαν συνέχισε να διαστέλλεται και να ψύχεται, τα νετρόνια άρχισαν να ενώνονται με τα πρωτόνια, σχηματίζοντας το δευτέριο, που είναι ένα ισότοπο του υδρογόνου. Μέσα στα επόμενα μερικά λεπτά, το δευτέριο συντήχθηκε στο μεγαλύτερο μέρος του σε ήλιο, ενώ παράλληλα σχηματίστηκαν και ίχνη λιθίου. Και τότε η εποχή της αρχέγονης πυρηνοσύνθεσης σταμάτησε, αφού η επακόλουθη μείωση της θερμοκρασίας του Σύ-



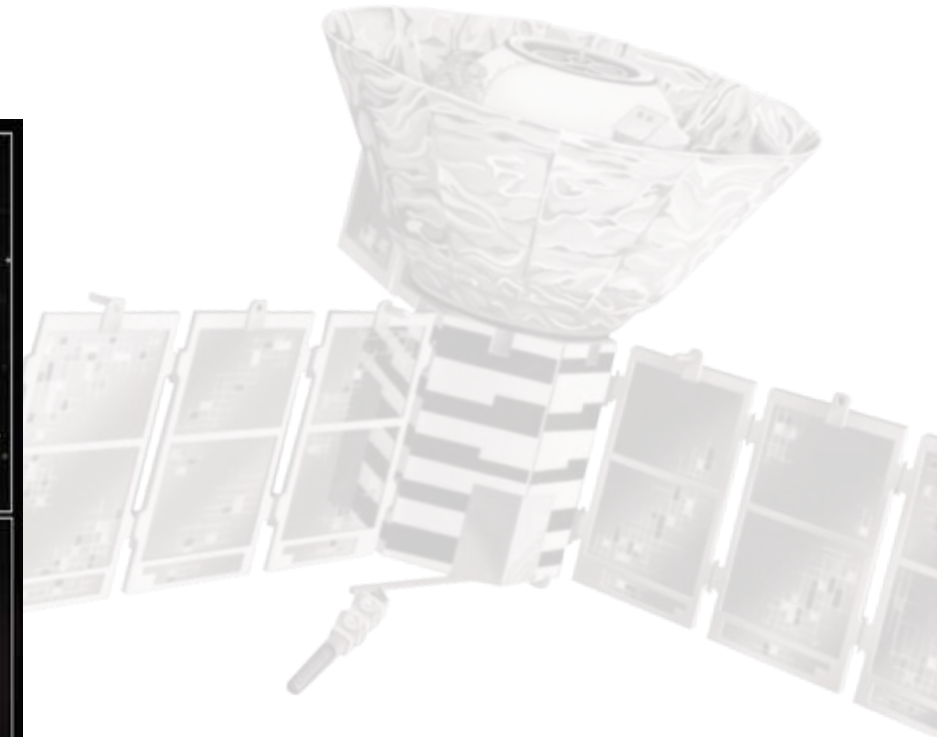
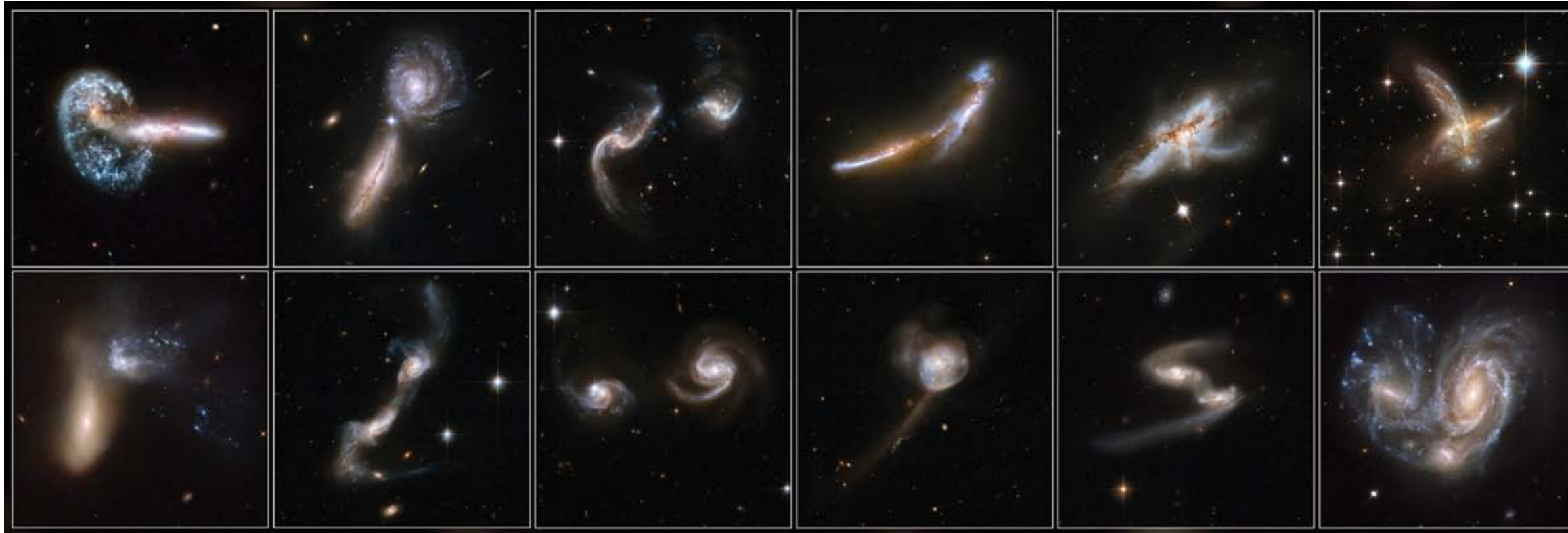
Η τυχαία ανακάλυψη της κοσμικής ακτινοβολίας υποβάθρου από τους Arno Penzias και Robert Wilson το 1965, επιβεβαίωσε το υπέρθερμο παρελθόν του Σύμπαντος (Bell Labs).

μπαντος εμπόδισε τον σχηματισμό βαρύτερων πυρήνων, οι οποίοι θα σχηματισθούν αρκετά αργότερα στο εσωτερικό των άστρων. Οι ποσότητες όμως αυτών των αρχέγονων πυρήνων, που έχουν μετρησει οι αστρονόμοι, βρίσκονται πολύ κοντά σ' αυτές που προβλέπει η θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης.

Η τυχαία ανακάλυψη το 1965 από τους φυσικούς **Arno Penzias** (1933-) και **Robert Wilson** (1941-) της **κοσμικής μικροκυματικής ακτινοβολίας υποβάθρου** (Cosmic Microwave Background Radiation, CMBR) αποτέλεσε την **τρίτη** θεμελιώδη παρατήρηση, πάνω στην οποία στηρίζεται η θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης. Γιατί, ακόμη και μετά την εποχή της αρχέγονης πυρηνοσύνθεσης, το Σύ-

μπαν εξακολουθούσε να είναι τόσο θερμό, ώστε η ύλη ήταν πλήρως ιονισμένη και αποτελούνταν από ελεύθερα ηλεκτρόνια και ελαφρείς ατομικούς πυρήνες. Γι' αυτό και τα φωτόνια της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σκεδάζονταν συνεχώς απ' αυτά τα φορτισμένα σωματίδια και δεν μπορούσαν να διαφύγουν ελεύθερα στο Διάστημα, με άλλα λόγια το Σύμπαν ήταν αδιαφανές στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Όταν όμως η ηλικία του έφτασε τα 380.000 χρόνια και η θερμοκρασία του μειώθηκε «όσο έπρεπε», τα πρωτόνια ενώθηκαν με τα ηλεκτρόνια, σχηματίζοντας ουδέτερο υδρογόνο, «αποδεσμεύοντας» έτσι την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από την ύλη.





Γαλαξιακές συγκρούσεις και συγχωνεύσεις οδηγούν στη δημιουργία όλο και μεγαλύτερων γαλαξιών [NASA, ESA, the Hubble Heritage (STScI/AURA)-ESA/Hubble Collaboration, A. Evans (University of Virginia, Charlottesville/NRAO/Stony Brook University)].

Με άλλα λόγια, η κοσμική ακτινοβολία υποβάθρου είναι το πλιόν αρχέγονο φως που μπορούμε να ανιχνεύσουμε στο Σύμπαν, η θερμική αναλαμπή του υπέρθερμου παρελθόντος του, η οποία απελευθερώθηκε μόλις 380.000 έτη μετά τη Μεγάλη Έκρηξη, προτού δηλαδή σχηματισθούν τα πρώτα άστρα και οι πρώτοι γαλαξίες. Καθώς, όμως, το νεαρό Σύμπαν συνέχισε να διαστέλλεται και να ψύχεται, το αρχέγονο αυτό φως έχανε συνεχώς ενέργεια και το μήκος κύματος που του αντιστοιχούσε συνεχώς «ξεχειλίλωνε», φτάνοντας σήμερα να αντιστοιχεί στο μικροκυματικό τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Αυτή η αρχέγονη ακτινοβολία είναι εντυπωσιακά ομοιόμορφη προς

όποια κατεύθυνση κι αν την ανιχνεύουμε και η θερμοκρασία που της αντιστοιχεί σήμερα έχει μειωθεί στους 2,725 K (για τη μετατροπή βαθμών Κέλβιν σε βαθμούς Κελσίου, απλά αφαιρούμε 273,15). Για αυτήν την, έστω και τυχαία, ανακάλυψή τους, οι Penzias και Wilson τιμήθηκαν με το Νόμπελ Φυσικής το 1978. Όπως, μάλιστα, προβλέπει η θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης, το φάσμα της CMBR έχει συγκεκριμένη μορφή, η οποία επιβεβαιώθηκε πανηγυρικά και με μεγάλη ακρίβεια χάρη στα δεδομένα που συνέλεξε ο δορυφόρος **COBE** από το 1989 μέχρι το 1992. Πολύ περισσότερο, όμως, η ανάλυση των δεδομένων του COBE αποκάλυψε για πρώτη φορά ότι η ομοιομορφία

της CMBR κρύβει μέσα της μικροσκοπικές θερμοκρασιακές διακυμάνσεις, οι οποίες, όπως θα δούμε, θεωρούνται κομβικής σημασίας από τους επιστήμονες που προσπαθούν να κατανοήσουν τον σχηματισμό των δομών μεγάλης κλίμακας. Για τα επιτεύγματά τους αυτά, οι **John Mather** (1946-) και **George Smoot** (1945-), οι επικεφαλής ερευνητές της ομάδας του COBE, τιμήθηκαν με το Νόμπελ Φυσικής το 2006.

Παρόλως, όμως, τις εντυπωσιακές της επιτυχίες, η θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης είναι ατελής, καθώς μία σειρά από θεμελιώδη ερωτήματα παραμένουν αναπάντητα. Για παράδειγμα, γιατί το Σύμπαν είναι

ομοιογενές και ισότροπο σε μεγάλες κλίμακες; Πού οφείλεται η εμφανής ανομοιομορφία που παρουσιάζει στις μικρές κλίμακες; Με άλλα λόγια, ποιος είναι ο φυσικός μηχανισμός που έδωσε το έναυσμα για τον σχηματισμό των πρώτων άστρων και γαλαξιών; Και τρίτον, πού οφείλονται οι μικροσκοπικές θερμοκρασιακές διακυμάνσεις που ανιχνεύθηκαν στην CMBR; Η σύγχρονη απάντηση των επιστημόνων σε αυτά τα 3 ερωτήματα, καθώς και σε κάποια άλλα των οποίων η παρουσίαση υπερβαίνει τους στόχους αυτού του Οδηγού, προκύπτει μέσα από την ανάπτυξη μιας νέας κοσμολογικής θεωρίας, αλλά και με τη «συνδρομή» της σκοτεινής ύλης.

Σύμφωνα με τους περισσότερους επιστήμονες, οι δομές μικρής και μεγάλης κλίμακας «προήλθαν» από μικροσκοπικές διακυμάνσεις στην πυκνότητα της ύλης του αρχέγονου Σύμπαντος, οι οποίες αυξήθηκαν σταδιακά με την επίδραση της βαρύτητας, δημιουργώντας περιοχές με ακόμη μεγαλύτερη πυκνότητα κ.ο.κ., οι οποίες «κατέρρευσαν» βαρυτικά, σχηματίζοντας μερικές εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια αργότερα, τα πρώτα άστρα και τους πρώτους μικρούς γαλαξίες. Αυτοί με τη σειρά τους άρχισαν να συγκρούονται και να συγχωνεύονται μεταξύ τους δημιουργώντας μεγαλύτερους γαλαξίες, ενώ η βαρυτική έλξη μεταξύ διαφορετικών γαλαξιών διαμόρφωσε τα σμήνη και τα υπερσμήνη γαλαξιών, οδηγώντας εν τέλει στις δομές που σήμερα παρατηρούμε και θα περιγράψουμε εκτενέστερα στο επόμενο κεφάλαιο. Παρόλο, όμως, που η βαρύτητα «αναλαμβάνει» να διογκώσει αυτές τις διακυμάνσεις, «χτίζοντας» όλο και μεγαλύτερες δομές περίπου με τον τρόπο που μόλις περιγράψαμε, αδυνατεί να τις «δημιουργήσει».

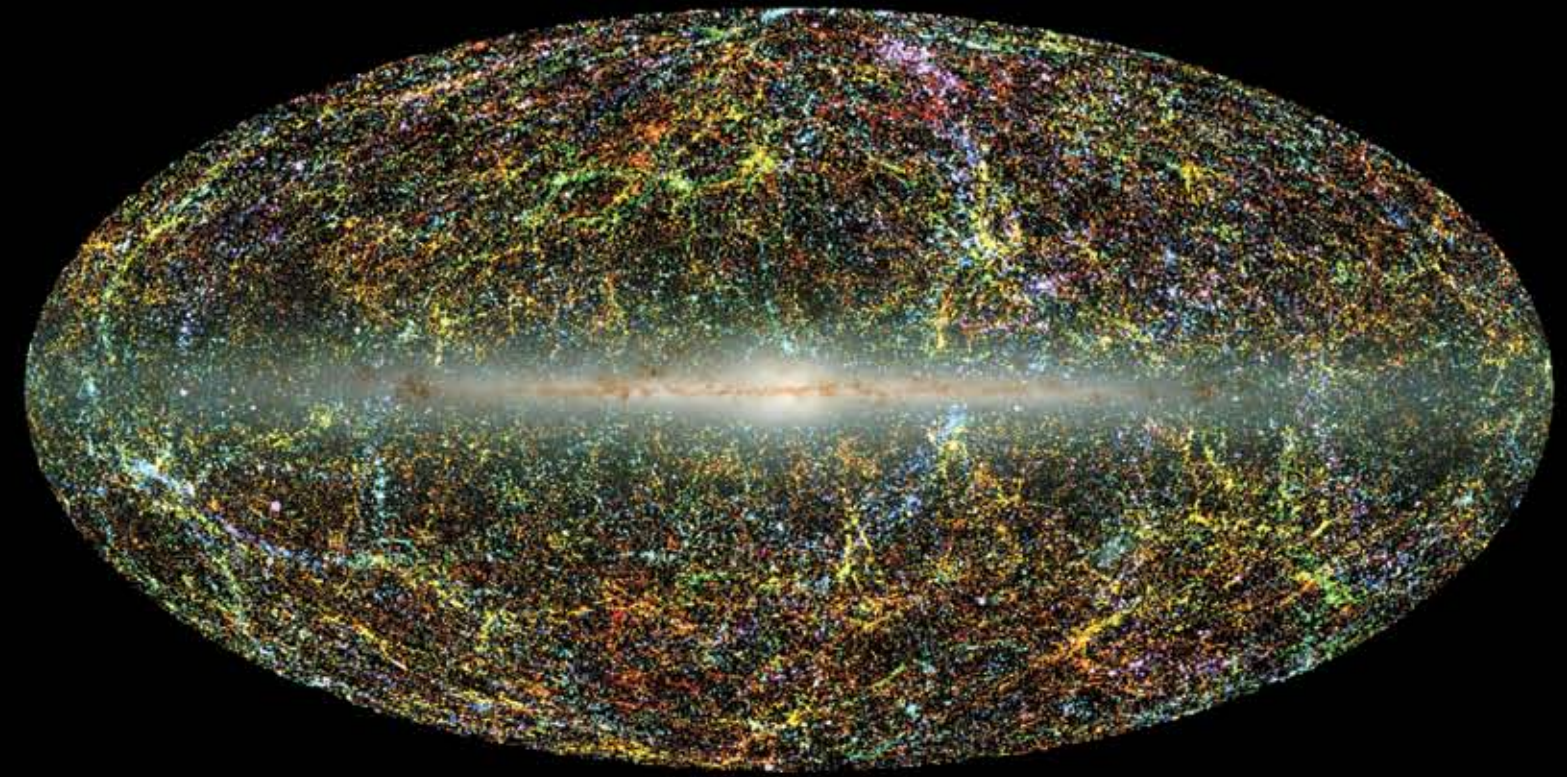
Το επικρατέστερο «σενάριο», μέσα απ' το οποίο «αναδύονται» με «φυσικό» τρόπο οι διακυμάνσεις αυτές, ενώ αίρονται παράλληλα τα περισσότερα από τα μεγάλα προβλήματα που «ταλανίζουν» την κλασική θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης, είναι η θεωρία του **Πληθωριστικού Σύμπαντος**, η βασική ιδέα της οποίας αναπτύχθηκε στη διάρκεια της δεκαετίας του '80. Σύμφωνα με τη νέα αυτή θεωρία, για ένα απειροελάχιστο χρονικό διάστημα το πολύ νεαρό Σύμπαν διογκώθηκε με μια ταχύτητα, εκθετικά επιταχυνόμενη διαστολή, αυξάνοντας το μέγεθός του εντυπωσιακά, εξαιτίας μιας άγνωστης

μορφής ενέργειας που προκάλεσε ένα είδος κοσμικής βαρυτικής απώθησης, προτού η διαστολή του επανέλθει στον επιβραδυνόμενο ρυθμό που προβλέπει η θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης.

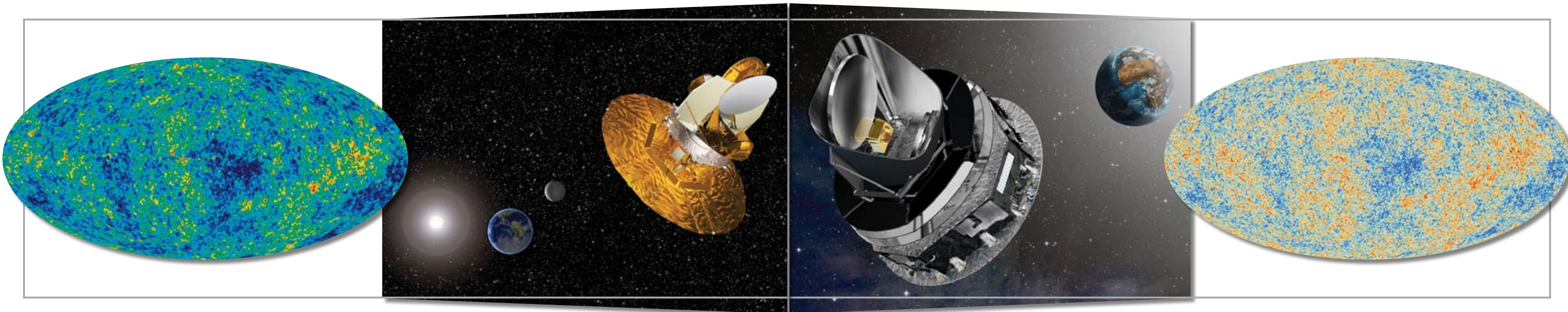
Σύμφωνα, λοιπόν, με τη θεωρία του Πληθωρισμού, κβαντικές διακυμάνσεις που προϋπήρχαν της εποχής του Πληθωρισμού, διογκώθηκαν με την εκθετική διαστολή του Σύμπαντος σε «μακροσκοπικού» μεγέθους διακυμάνσεις στην πυκνότητα του αρχέγονου πλάσματος. Αυτές, με τη σειρά τους, «αποτυπώθηκαν» στην CMBR με τη μορφή των μικροσκοπικών θερμοκρασιακών διακυμάνσεων που ανίχνευσε ο COBE, ενώ αποτέλεσαν τις κοσμικές «φύτρες», μέσα απ' τις οποίες αναδύθηκαν οι πρώτες δομές στο Σύμπαν, αφού εξαιτίας της ελάχιστα μεγαλύτερης βαρυτικής τους έλξης συσώρευαν πάνω τους όλο και περισσότερη ύλη. Στις ακραίες, όμως, θερμοκρασίες εκείνης της αρχέγονης εποχής, επειδή η πίεση της ακτινοβολίας υπερίσχυε της βαρύτητας, η «κλασική» βαρυονική ύλη αδυνατούσε να καταρρεύσει σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις. Η σκοτεινή ύλη, αντίθετα, ενώ «αισθάνεται» τη βαρύτητα, δεν αλληλεπιδρά καθόλου με την ακτινοβολία. Γι' αυτό και, σε αντίθεση με τη βαρυονική ύλη, μπόρεσε να καταρρεύσει βαρυτικά, σχηματίζοντας τις πρωταρχικές συσσωματώσεις ύλης, πάνω στις οποίες άρχισε σταδιακά να έλκεται και βαρυονική ύλη, και από τις οποίες προήλθαν εντέλει οι πρώτες δομές στο Σύμπαν. Χωρίς, δηλαδή, τη σκοτεινή ύλη, ο σχηματισμός των δομών στο Σύμπαν θα είχε καθυστερήσει αρκετά και το Σύμπαν θα ήταν διαφορετικό απ' αυτό που παρατηρούμε.

Η εξέλιξη του Σύμπαντος, όπως περίπου την παρουσιάσαμε, περιγράφεται με μεγάλη ακρίβεια, τόσο στα πρωταρχικά της στάδια μέσα από την Πληθωριστική θεωρία, όσο και μετέπειτα μέσα απ' τη θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης. Γι' αυτό και οι περισσότεροι επιστήμονες δεν είχαν καμία αμφιβολία ότι, με εξαίρεση την Εποχή του Πληθωρισμού, η διαστολή του Σύμπαντος επιβραδύνεται συνεχώς. Και όμως, κατά τη διάρκεια της δεκαε-

τίας του '90, 2 ανεξάρτητες ερευνητικές ομάδες αστροφυσικών, στην προσπάθειά τους να υπολογίσουν με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια τον επιβραδυνόμενο ρυθμό διαστολής του, κατέληξαν σε ένα συμπέρασμα που άφησε τη διεθνή επιστημονική κοινότητα κατάπληκτη: τα τελευταία δισεκατομμύρια χρόνια η διαστολή του Σύμπαντος, όχι μόνο δεν επιβραδύνεται, αλλά, αντίθετα, επιταχύνεται συνεχώς. Για να συμβαίνει, όμως, κάτι τέτοιο,



Απεικόνιση στο υπέρυθρο περισσότερων από 1,5 εκατομμυρίων γαλαξιών του «τοπικού» Σύμπαντος. Το μπλε χρώμα αντιστοιχεί στους πλησιέστερους και το κόκκινο στους πιο απομακρυσμένους γαλαξίες. Η μεγάλη κλίμακας κατανομή γαλαξιών και γαλαξιακών σμηνών αρχίζει να γίνεται εμφανής (2MASS/Thomas Jarrett).



Ο χάρτης της κοσμικής ακτινοβολίας υποβάθρου από το Planck (δεξιά σελίδα, ESA, Planck Collaboration) βελτίωσε κατά πολύ τα αντίστοιχα δεδομένα που είχε συλλέξει ο δορυφόρος WMAP (αριστερή σελίδα, NASA/WMAP Science Team).

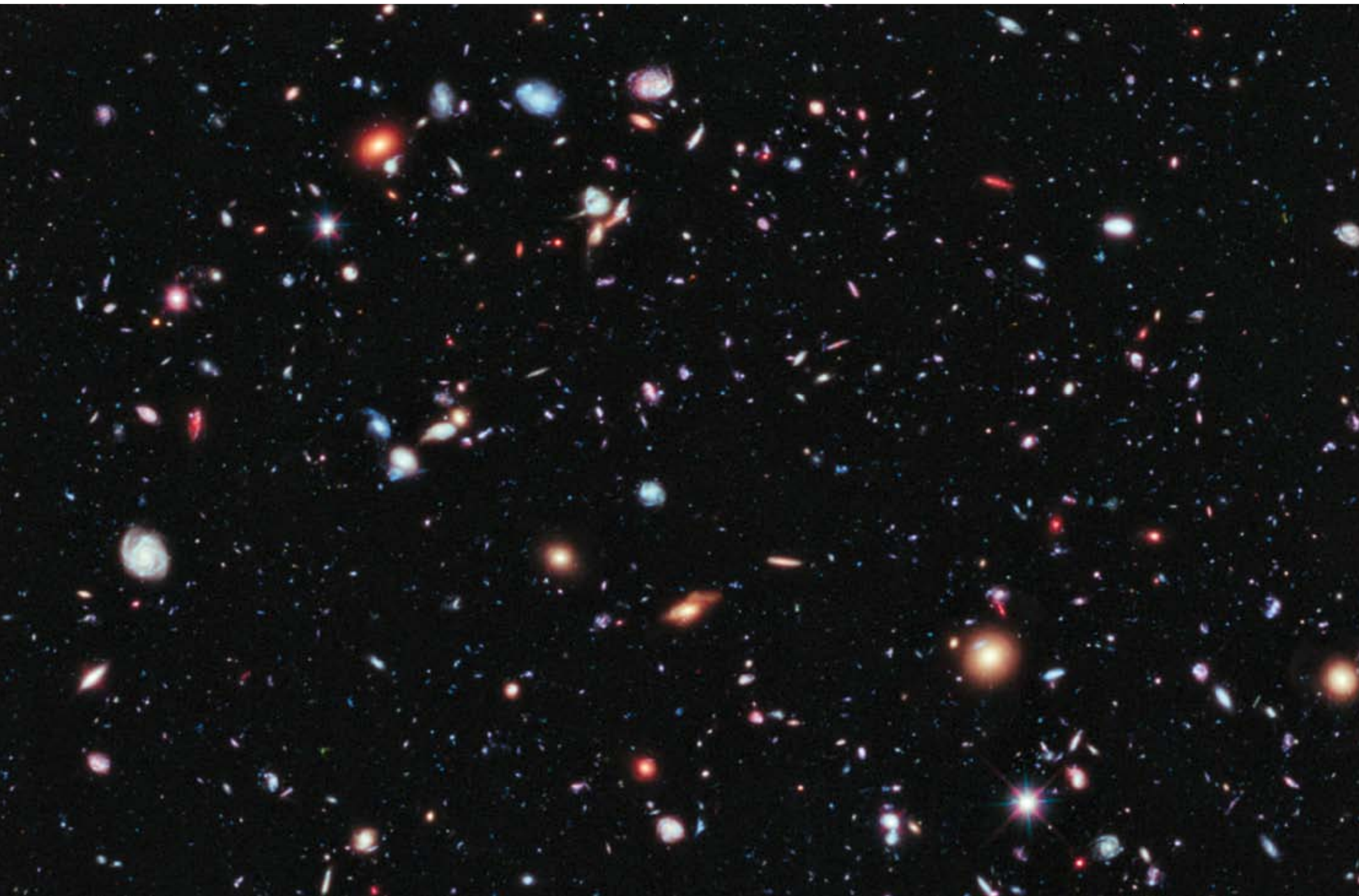
το συνολικό απόθεμα μάζας και ενέργειας του Σύμπαντος θα πρέπει να κυριαρχείται από μια άγνωστη μορφή ενέργειας, μια παράξενη ενέργεια με αρνητική πίεση, που της προσδίδει βαρυτικά απωστικές ιδιότητες: τη **σκοτεινή ενέργεια**. Και είναι πράγματι «σκοτεινή» γιατί, ακόμα και σήμερα, 15 περίπου χρόνια μετά την επιβεβαίωση της ύπαρξής της, η φύση της εξακολουθεί να διαφεύγει από τους επιστήμονες. Το γεγονός, όμως, ότι αυτές ακριβώς οι ιδιότητες που πρέπει να έχει «θυμίζουν» πολύ την κοσμολογική σταθερά του Αϊνστάιν, υποδηλώνει ίσως ότι «η μεγαλύτερη γκάφα της ζωής του» μεγάλου αυτού φυσικού δεν ήταν τόσο

η υιοθέτηση από μέρος του της κοσμολογικής σταθεράς, όσο η μετέπειτα απόρριψή της!

Στις 30 Ιουνίου 2001 η NASA έθεσε σε τροχιά τον δορυφόρο **WMAP**, βασικός στόχος του οποίου 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 από την Εποχή του Πληθωρισμού μέχρι σήμερα. Οι ανακαλύψεις αυτές που προέκυψαν από την επιστημο-

νική ανάλυση των δεδομένων που συγκέντρωσε το WMAP, όσο εντυπωσιακές και ακριβείς αποδείχθηκε ότι ήταν, μόλις πρόσφατα βελτιώθηκαν ακόμη περισσότερο, χάρη στην ανάλυση των δεδομένων τα οποία συνέλεξε ο Ευρωπαϊκός δορυφόρος **Planck**. Σύμφωνα μ' αυτήν, το Σύμπαν έχει ηλικία 13,8 δισεκατομμύρια έτη. Εκτός αυτού, 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, ενώ το 26,8% αντιστοιχεί στη σκοτεινή ύλη και το υπόλοιπο 68,3% στη σκοτεινή ενέργεια. Με εξαίρεση,

δηλαδή, τις πρωταρχικές στιγμές της εξέλιξης του Σύμπαντος, οι δορυφόροι WMAP και Planck επιβεβαίωσαν με εξαιρετική ακρίβεια όλες σχεδόν τις προβλέψεις της θεωρίας. Και όμως, μια σειρά από θεμελιώδη ερωτήματα που αφορούν τόσο στη φυσική του Σύμπαντος όσο και στη φυσική των στοιχειωδών σωματιδίων της ύλης εξακολουθούν να παραμένουν αναπάντητα. Η συμβολή του LHC, του νέου επιταχυντή του **CERN**, όπως εξάλλου και των νέων επίγειων και διαστημικών μας τηλεσκοπίων, θα είναι καθοριστική στην προσπάθειά μας να διαλευκάνουμε τα άλυτα ακόμη μυστήρια του Σύμπαντος.



## 2. Σμήνη και υπερσμήνη γαλαξιών

Η κατανόηση του Σύμπαντος από τον άνθρωπο είναι μια διαδικασία που, αν και ξεκίνησε πριν από περίπου 2.500 χρόνια από τους προσωκρατικούς φιλοσόφους, ακόμη βρίσκεται σε αρχικό στάδιο. Γιατί, παρόλο που η επιστημονική διερεύνηση των φυσικών φαινομένων έχει όντως διευρύνει εντυπωσιακά τις γνώσεις μας, και παρόλο που η εξέλιξη των ιδεών στις φυσικές επιστήμες –ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια του προηγούμενου αιώνα– υπήρξε ραγδαία, η πραγματική φύση του συντριπτικού ποσοστού της συνολικής μάζας και ενέργειας που εμπεριέχει το Σύμπαν, εξακολουθεί να μας διαφεύγει. Ας μην ξεχνάμε, άλλωστε, ότι μόλις πριν από 90 χρόνια ο Αμερικανός αστρονόμος *Edwin Hubble* απέδειξε ότι υπάρχουν και άλλες αστρικές πολιτείες σαν τον δικό μας Γαλαξία. Σήμερα, βέβαια, γνωρίζουμε ότι το Σύμπαν περιέχει τουλάχιστον 100 δισεκατομμύρια γαλαξίες, απ' τους οποίους άλλοι είναι μικροί και ακανόνιστοι και άλλοι έχουν σπειροειδή μορφή, όπως ο Γαλαξίας μας, ενώ κάποιοι άλλοι φαίνονται ακόμη πιο πυκνά «πακεταρισμένοι» σε μια σφαιροειδή ή ελλειπτική δομή.

Σύμφωνα με την ταξινόμηση των γαλαξιών, στην οποία κατέληξε ο ίδιος ο Hubble, αλλά και όπως αυτή εξελίχθηκε με την αστρονομική έρευνα που ακολούθησε, γνωρίζουμε ότι οι γαλαξίες, ανάλογα με τον μορφολογικό τους τύπο, διακρίνονται στις εξής 5 βασικές κατηγορίες: στους **σπειροειδείς**, στους **ραβδωτούς σπειροειδείς**, στους **ελλειπτικούς**, στους **φακοειδείς** και στους **ανώμαλους** ή ακανόνιστους. Όπως υποδηλώνει και το όνομά τους, οι σπειροειδείς γαλαξίες ξεχωρίζουν χάρη στις συμμετρικές σπείρες που ξεπροβάλλουν από τον φωτεινό τους πυρήνα, ενώ στους ραβδωτούς σπειροειδείς, οι σπείρες ξεκινούν απ' τα άκρα μιας κεντρικής «ράβδου» άστρων, αερίων και σκόνης. Οι ελλειπτικοί γαλαξίες, από την άλλη, είναι κατά κανόνα οι μεγαλύτεροι γαλαξίες του Σύμπαντος, σε αντίθεση με τους ανώμαλους, οι οποίοι δεν παρουσιάζουν εμφανή συμμετρία. Εκτός, όμως, από το σχήμα τους, η βασική διαφορά μεταξύ των σπειροειδών και των ελλειπτικών γαλαξιών είναι ότι οι δεύτεροι, αν και τις περισσότερες φορές αποτελούνται από πολύ μεγαλύτερες ποσότητες ύλης σε σχέση με τους πρώτους, δεν εμπεριέχουν σχεδόν καθόλου αέρια και σκόνη, απ' τα οποία γεννιούνται νέα άστρα. Γι' αυτό και οι ελλειπτικοί γαλαξίες απαρτίζονται κατά κύριο λόγο από άστρα μεγάλης ηλικίας, αλλά μικρής σχετικά μάζας, ενώ τα φαινόμενα αστρογένεσης παρατηρούνται κυρίως στους ανώμαλους και στους σπειροειδείς γαλαξίες. Μέχρι πριν από λίγες δεκαετίες, οι επιστήμονες θεωρούσαν ότι όλοι οι γαλαξίες του Σύμπαντος αποτελούνται από συνηθισμένη βαρυονική ύλη και ότι η φωτεινότητά τους αντι-



Ο αμερικανός αστρονόμος Edwin Hubble.

στοιχεί στη συνολική τους μάζα. Ήδη, όμως, στη διάρκεια της δεκαετίας του '30, άρχισαν να έρχονται στο φως όλο και περισσότερες ενδείξεις ότι «εκεί έξω» υπάρχουν πολλά περισσότερα απ' όσα μπορούσαμε να φανταστούμε.

Τις πρώτες απ' αυτές τις οφείλουμε στις πρωτοποριακές μελέτες που πραγματοποίησε ο Ελβετός αστρονόμος **Fritz Zwicky** (1898-1974), ο οποίος, προσπαθώντας να υπολογίσει τη συνολική μάζα ενός γαλαξιακού σμήνους, βρέθηκε μπροστά σ' ένα κοσμικό «παράδοξο»: η μάζα που αντιστοιχούσε στη «φωτεινή» του ύλη ήταν

κατά πολύ μικρότερη από αυτή που απαιτούνταν ούτως ώστε να «δικαιολογηθούν» οι μεγάλες ταχύτητες των επί μέρους γαλαξιών του. Το εκπληκτικό συμπέρασμα στο οποίο κατέληξε ήταν ότι το γαλαξιακό αυτό σμήνος, προκειμένου να «συγκρατεί» με τη βαρυτική του έλξη τους γαλαξίες που το απαρτίζουν, θα πρέπει να εμπεριέχει και τεράστιες ποσότητες μιας άγνωστης μορφής **σκοτεινής ύλης**, η οποία ονομάστηκε έτσι γιατί δεν εκπέμπει κάποιου είδους ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, που θα επέτρεπε την ανίχνευσή της. Χρειάστηκε να περάσουν περίπου 40 χρόνια για να γίνει ευρέως αποδεκτή η επαναστατική αυτή ιδέα από αστρονομική κοινότητα. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '70, όμως, η αμερικανή αστρονόμος **Vera Rubin** (1928-), υπολογίζοντας

τις ταχύτητες με τις οποίες περιφέρονται τα άστρα γύρω από ορισμένους γαλαξιακούς πυρήνες κατέληξε στο ίδιο συμπέρασμα. Έτσι, γνωρίζουμε σήμερα ότι κάθε γαλαξίας περιβάλλεται από μια σφαιρική άλω σκοτεινής ύλης, που αντιστοιχεί και στο μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής του μάζας. Όμως, ακόμα και σήμερα η φύση της εξακολουθεί να παραμένει άγνωστη. Τι θα μπορούσε να είναι;

Μια πρώτη απάντηση είναι συνηθισμένης μορφής βαρυονική ύλη, όπως καφέ νάνοι, αέριοι πλανήτες σαν τον Δία, μαύρες τρύπες, καθώς και άλλα «κλασικά» ουράνια σώματα, τα οποία δεν μπορούμε να «δούμε» είτε γιατί εκπέμπουν ελάχιστη ακτινοβολία είτε επειδή βρίσκονται πολύ μακριά μας, είτε γιατί κρύβονται βαθιά μέσα σε



Η κατανομή των γαλαξιών σύμφωνα με τον Hubble.



Ο γαλαξίας της Ανδρομέδας (copyright Robert Gendler 2005).



Ο γαλαξίας M51 (Jon and Bryan Rolfe/Adam Block/NOAO/AURA/NSF).

νέφη σκόνης. Όλες οι έρευνες όμως που έχουν διεξαχθεί ως τώρα απορρίπτουν την πιθανότητα να αποτελείται η σκοτεινή ύλη αποκλειστικά από βαρυονική ύλη. Οι περισσότεροι ερευνητές, αντίθετα, συμφωνούν ότι η σκοτεινή ύλη του Σύμπαντος αποτελείται στο μεγαλύτερο μέρος της από παράξενα στοιχειώδη σωματίδια, «εξωτικές» δηλαδή μορφές ύλης, που δεν έχουν ακόμα ανιχνευθεί στο εργαστήριο, όπως είναι τα Ασθενώς Αλληλεπιδρώντα Σωματίδια με Μάζα ή **WIMPs** από τα αρχικά της αγγλικής τους ονομασίας (Weakly Interacting Massive Particles). Η ύπαρξη των WIMPs προβλέπεται από ορισμένες θεωρίες στοιχειωδών σωματιδίων και, θεωρητικά τουλάχιστον, η παραγωγή τους μετά τη Μεγάλη Έκρηξη είναι αυτή που απαιτείται για να εξηγήσει τη σκοτεινή ύλη του Σύμπαντος. Το πρόβλημα με τα WIMPs είναι ότι δεν αλληλεπιδρούν με τη βαρυονική ύλη παρά μόνο διά μέσου της ασθενούς και της βαρυτικής αλληλεπίδρασης και κατά συνέπεια, εάν όντως υπάρχουν, είναι ιδι-

αίτερα δύσκολο να ανιχνευθούν. Την πρόκληση αυτή καλείται να αντιμετωπίσει η νέα γενιά των υπογείων ανιχνευτών σκοτεινής ύλης που ήδη λειτουργούν ή κατασκευάζονται αυτή τη στιγμή, σε συνδυασμό με τα νέα πειράματα που θα διεξαχθούν στον γιγάντιο επιταχυντή σωματιδίων **LHC** και με τη βοήθεια πάντα των επίγειων και διαστημικών μας τηλεσκοπίων. Όπως και να 'χει, η διεύρυνση των γνώσεών μας για τη γέννηση και την εξέλιξη των γαλαξιών, οι οποίοι στο πέραςμα δισεκατομμυρίων ετών σχημάτισαν όλες τις δομές μικρής και μεγάλης κλίμακας, που θα περιγράψουμε παραπάνω, είναι άρρηκτα συνδεδεμένη και με τη σκοτεινή ύλη, όπως επίσης και με τον τρόπο που αυτή κατανέμεται στον χώρο και στον χρόνο.

Ξεκινώντας, έτσι, απ' τη διαστημική μας «γειτονιά», ο πλησιέστερος σε μας γιγάντιος σπειροειδής γαλαξίας είναι ο γαλαξίας της **Ανδρομέδας**, περίπου 2,5 εκατομμύρια έτη φωτός μακριά,

προς την κατεύθυνση του ομώνυμου αστερισμού. Παρόλες τις εγγενείς αβεβαιότητες που υπεισέρχονται στον υπολογισμό των γαλαξιακών αποστάσεων, ο γαλαξίας της Ανδρομέδας υπολογίζεται ότι περιλαμβάνει τουλάχιστον 1 τρισεκατομμύριο άστρα, όταν ο αριθμός των άστρων του Γαλαξία μας δεν υπερβαίνει τα 400 δισεκατομμύρια. Από την άλλη, όμως, θεωρείται ότι οι μάζες των δύο γαλαξιών είναι συγκρίσιμες, και αυτό χάρη στη μεγαλύτερη ποσότητα σκοτεινής ύλης που εικάζεται ότι εμπεριέχει ο Γαλαξίας μας. Σύμφωνα, μάλιστα, με τους περισσότερους αστρονόμους, οι δύο γαλαξίες αναμένεται να συγκρουστούν σε περίπου 4 δισεκατομμύρια χρόνια και εν τέλει να συγχωνευθούν, σχηματίζοντας έναν πραγματικά γιγάντιο ελλειπτικό γαλαξία. Τέτοιου είδους γαλαξιακές συγκρούσεις είναι ιδιαίτερα συχνές στην εξελικτική πορεία του Σύμπαντος. Πώς, όμως, συμβαδίζουν αυτές με τη μεγάλης κλίμακας διαστολή του και την ανακάλυψη από τον Hubble ότι οι γαλαξίες απομακρύνονται ο ένας

από τον άλλο με ταχύτητες ανάλογες της μεταξύ τους απόστασης; Η απάντηση είναι ότι στην αέναη διεκκυστίνδα μεταξύ της βαρυτικής έλξης –που τείνει να φέρει τον έναν γαλαξία κοντά στον άλλον– και της διαστολής του Σύμπαντος –που τείνει να τους απομακρύνει–, εάν κάποιος γαλαξίες σχηματίστηκαν σε σχετικά μικρές αποστάσεις ο ένας από τον άλλο, αυτό που σχεδόν πάντα υπερισχύει είναι η πρώτη περίπτωση. Το γεγονός ότι σε σχετικά μικρές αποστάσεις, η βαρυτική έλξη μεταξύ δύο ή περισσότερων γαλαξιών μπορεί τοπικά να υπερισχύει της κοσμικής διαστολής είναι και ο βασικός λόγος για τον οποίο οι περισσότεροι γαλαξίες πολύ σπάνια εμφανίζονται απομονωμένοι μέσα στην απεραντοσύνη του Σύμπαντος. Αντίθετα, οι γαλαξίες οργανώνονται κάτω απ' την αμοιβαία τους βαρύτητα σε **ομάδες** και **σμήνη**, τα οποία περιλαμβάνουν από μερικές δεκάδες μέχρι και μερικές χιλιάδες γαλαξίες, ενώ τα γαλαξιακά σμήνη με τη σειρά τους συγκροτούν τα γαλαξια-



Ο γαλαξίας του Τριγώνου [N. Caldwell, B. McLeod, A. Szentgyorgyi (SAO)].

κά **υπερσμήνη**. Γνωρίζουμε, για παράδειγμα, ότι ο Γαλαξίας μας δεν «περιπλανιέται» μόνος του στο Σύμπαν, αλλά αντιθέτως συνοδεύεται σ' αυτό το κοσμικό του ταξίδι από τουλάχιστον 13 γαλαξίες-δορυφόρους, όπως το Μεγάλο και το Μικρό Νέφος του Μαγγελάνου, που δεν περιλαμβάνουν περισσότερα από μερικές εκατοντάδες εκατομμύρια άστρα ο καθένας. Γνωρίζουμε επίσης ότι και ο γαλαξίας της Ανδρομέδας έχει τους δικούς του γαλαξίες-συνοδούς, οι οποίοι υπερβαίνουν τους 14. Έτσι, ο Γαλαξίας μας, ο γαλαξίας της Ανδρομέδας (M 31 ή NGC 224) και ο γαλαξίας του Τριγώνου (M 33 ή NGC 598) είναι οι τρεις μεγαλύτεροι γαλαξίες μίας μικρής ομάδας 50 περίπου γαλαξιών, οι οποίοι κάτω από την αμοιβαία τους βαρύτητα συγκροτούν την επονομαζόμενη **Τοπική Ομάδα**, που περιέχει αντιπροσωπευτικά δείγματα όλων των γαλαξιακών τύπων: σπειροειδείς, ραβδωτούς σπειροειδείς, ελλειπτικούς και ακανόνιστους γαλαξίες.

Όσο εισχωρούμε όμως όλο και πιο πολύ στα άδυτα του Σύμπαντος, το σκοτάδι παραμερίζεται από το αμυδρό φως τόσων γαλαξιών όσα είναι και τ' άστρα του Γαλαξία μας. Έχουμε φτάσει δηλαδή στην περιοχή που κυριαρχείται από τον κόσμο των γαλαξιακών σμηνών, το πλησιέστερο από τα οποία είναι το **Σμήνος της Παρθένου**, 54 εκατομμύρια έτη φωτός μακριά, προς την κατεύθυνση του ομώνυμου αστερισμού. Στο κέντρο περίπου του σμήνους αυτού βρίσκεται ένας από τους μεγαλύτερους γαλαξίες που έχουμε εντοπίσει στο «τοπικό» μας Σύμπαν: ο γιγάντιος ελλει-

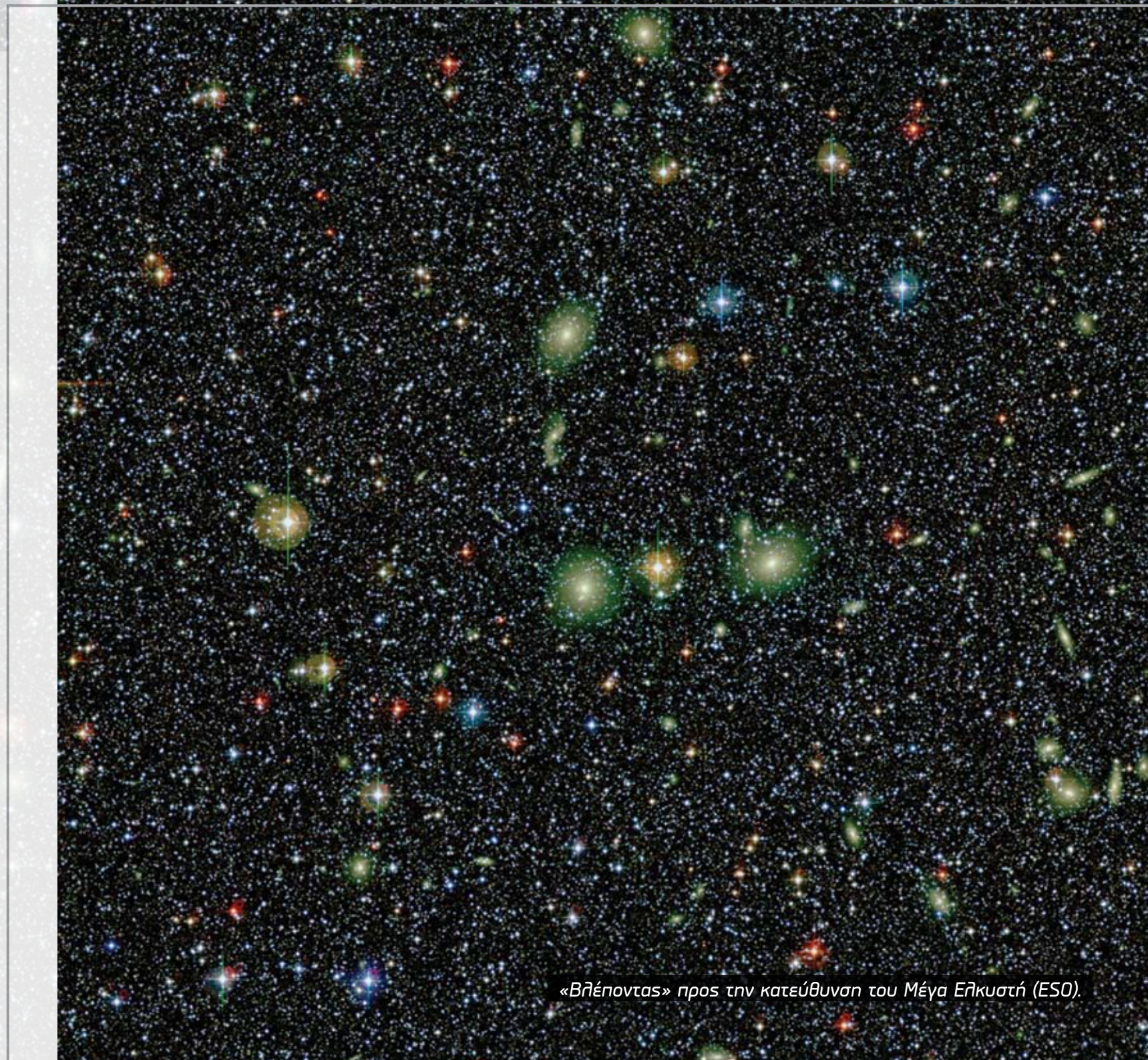
πτικός γαλαξίας Παρθένος Άλφα ή M 87. Στεφανωμένος με περισσότερα από 10.000 σφαιρωτά αστρικά σμήνη, με συνολικό αριθμό άστρων που ανέρχεται σε αρκετά τρισεκατομμύρια και με μία κολλοσοιαία μαύρη τρύπα στον πυρήνα του, 6 δισεκατομμύρια φορές μεγαλύτερη απ' τη μάζα του Ήλιου, ο γιγάντιος αυτός γαλαξίας υπολογίζεται ότι έχει συνολική μάζα, η οποία μπορεί να είναι ακόμη και δεκάδες φορές μεγαλύτερη απ' αυτήν του Γαλαξία μας. Ο γαλαξίας M 87 είναι μια από τις ισχυρότερες πηγές ραδιοακτινοβολιών, ακτίνων X και φωτεινής ενέργειας, ενώ ένας πίδακας πλάσματος ηλεκτρονίων και άλλων υποατομικών σωματιδίων εκτινάσσεται με τεράστιες ταχύτητες από τον πυρήνα του, σε απόσταση που αγγίζει τα 5.000 έτη φωτός.

Σύμφωνα με τις έως τώρα μελέτες, το Σμήνος της Παρθένου αποτελείται από τουλάχιστον 2.000 γαλαξίες και βρίσκεται στον πυρήνα μιας πολύ μεγαλύτερης γαλαξιακής συγκέντρωσης, γνωστής ως το **Υπερσμήνος της Παρθένου** ή το Τοπικό Υπερσμήνος, στις παρυφές του οποίου βρίσκεται η Τοπική Ομάδα και κατά συνέπεια ο Γαλαξίας μας. Το υπερσμήνος της Παρθένου περιλαμβάνει τουλάχιστον 100 γαλαξιακές ομάδες και σμήνη (συνολικά περισσότερους από 47.000 γαλαξίες), συγκεντρωμένα σε μία περιοχή με διάμετρο που φτάνει τα 110 εκατομμύρια έτη φωτός. Έρευνες, μάλιστα, των επιστημόνων καταδεικνύουν ότι πολλά γαλαξιακά σμήνη, συμπεριλαμβανομένου και του δικού μας, παρασύρονται σαν ένα τεράστιο γαλαξιακό ποτάμι προς την κατεύθυνση των

Αστερισμών της Ύδρας και του Κενταύρου, κάτω από την αδυσώπητη βαρυτική έλξη μιας κολλοσι-αίας συσσώρευσης μάζας σε απόσταση περίπου 250 εκατομμυρίων ετών φωτός, με το επιβλητικό όνομα ο **Μέγας Ελκυστής** (Great Attractor). Αστρονομικές παρατηρήσεις αποδεικνύουν ότι η ορατή ύλη, που αντιστοιχεί στον Μέγα Ελκυστή, δεν είναι αρκετή προκειμένου να δικαιολογήσει τη μαζική αυτή γαλαξιακή «μετανάστευση», γεγονός που υποδηλώνει την ύπαρξη τεραστίων ποσοτήτων σκοτεινής ύλης. Όλες αυτές οι χιλιάδες των γαλαξιών φαίνονται λοιπόν να μετακινούνται προς την ίδια κατεύθυνση, με ταχύτητα που φτάνει τα 600 km/s, επηρεασμένοι από τις βαρυτικές δυνάμεις αυτού του γαλαξιακού υπερσμήνους, η μελέτη του οποίου δυσχεραίνεται σημαντικά από το γεγονός ότι «κρύβεται» πίσω από τη σκόνη που ενυπάρχει στον δίσκο του Γαλαξία μας. Σύμφωνα με τις σχετικές έρευνες, στο κέντρο της περιοχής αυτής βρίσκεται το γαλαξιακό σμήνος Abell 3627, που αποτελείται από τουλάχιστον 600 γαλαξίες.

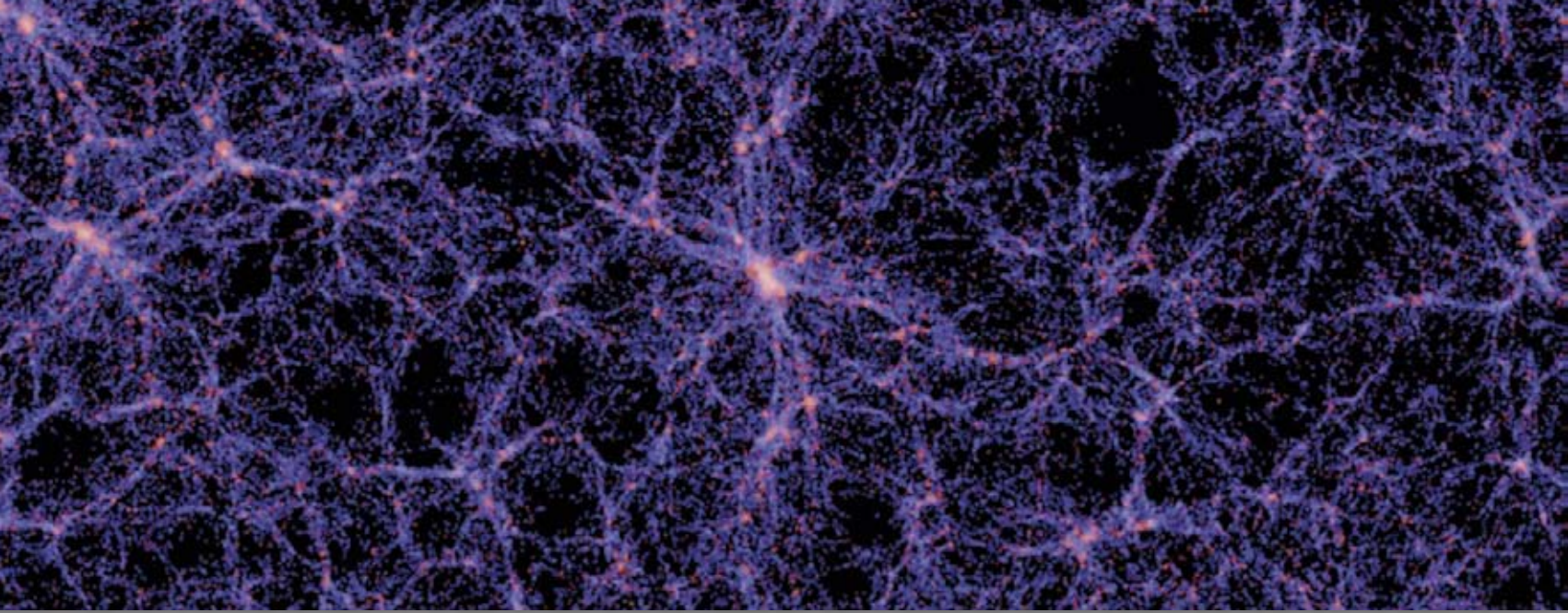
Εκτός από τα σμήνη και υπερσμήνη που περιγράψαμε ως τώρα, γνωρίζουμε ότι υπάρχουν εκατομμύρια άλλα, που κρύβουν μέσα τους γαλαξίες γεμάτους μυστήριο και υποσχέσεις νέων ανακαλύψεων. Το γαλαξιακό **σμήνος του Ηρακλή**, για παράδειγμα, περίπου 500 εκατομμύρια έτη φωτός μακριά προς την κατεύθυνση του ομώνυμου αστερισμού, είναι ένα σμήνος που δεν μοιάζει με τα περισσότερα γειτονικά μας γαλαξιακά σμήνη. Πραγματικά, το σμήνος του Ηρακλή, εκτός από

το γεγονός ότι το σχήμα του είναι ακανόνιστο και όχι σφαιρικό, περιέχει πολλούς σπειροειδείς γαλαξίες μικρής σχετικά ηλικίας, στο εσωτερικό των οποίων παρατηρείται μια «έξαρση» αστρογένεσης, ενώ δεν διαθέτει κανέναν γιγάντιο ελλειπτικό γαλαξία. Όπως, μάλιστα, αποδείχτηκε με τη βοήθεια των δεδομένων που συνέλεξε το **Πολύ Μεγάλο Τηλεσκόπιο του Ευρωπαϊκού Νότιου Αστεροσκοπείου**, πολλοί από τους γαλαξίες του σμήνους αυτού αλληλεπιδρούν βαρυτικά μεταξύ τους. Αυτό το διαγαλαξιακό «τανγκό» μεταξύ αλληλεπιδρώντων γαλαξιών οδηγεί αρχικά στη στρέβλωση της σπειροειδούς δομής τους και εν τέλει στη συγχώνευσή τους, με την ολοκλήρωση της οποίας σχηματίζονται μεγαλύτεροι ελλειπτικοί γαλαξίες. Οι αστρονόμοι, λαμβάνοντας υπόψη την παντελή απουσία ελλειπτικών γαλαξιών, τον μεγάλο αριθμό «ενεργών» σπειροειδών γαλαξιών, στο εσωτερικό των οποίων παρατηρείται έντονη αστρογένεση, και τον μεγάλο αριθμό των γαλαξιών που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, θεωρούν ότι το γαλαξιακό σμήνος του Ηρακλή έχει μικρή σχετικά ηλικία, σε αντίθεση με τα αρχαιότερα γαλαξιακά σμήνη, που έχουν εντοπισθεί σε παρόμοιες, μικρές για αστρονομικά δεδομένα, αποστάσεις. Το σμήνος αυτό, με τη σειρά του, ανήκει στο γιγάντιο υπερσμήνος του Ηρακλή. Με τη βοήθεια, άλλωστε, των μεγάλων μας τηλεσκοπίων, έχουμε ανακαλύψει και πολλά άλλα υπερσμήνη, τα οποία συγκροτούν ορισμένες από τις μεγαλύτερες δομές που υπάρχουν στο Σύμπαν, όπως τα υπερσμήνη Shapley, της Μεγάλης Άρκτου, του Περσέα-Ιχθύων, της Κόμης κ.ά..



«Βλέποντας» προς την κατεύθυνση του Μέγα Ελκυστή (ESO).





Προσομοίωση της κατανομής των γαλαξιών σε μεγάλες κλίμακες  
(Millennium Simulation Project, Max Planck Institute for Astrophysics).

Μία από τις μεγαλύτερες, όμως, γνωστές δομές που έχουν εντοπισθεί ως τώρα στο Σύμπαν είναι το **Μεγάλο Τείχος**, μία σχετικά λεπτή νηματοειδής κατανομή γαλαξιών, γαλαξιακών σμηνών και υπερσμηνών, περίπου 300 εκατομμύρια έτη φωτός μακριά από τη Γη, με μήκος και πλάτος που υπερβαίνει τα 500 και 300 εκατομμύρια έτη φωτός αντίστοιχα, αλλά με πάχος που φτάνει μόλις τα 16 εκατομμύρια έτη φωτός. Το Μεγάλο Τείχος ανακαλύφθηκε το 1989 από τους αστροφυσικούς **Margaret Geller** (1947-) και **John Huchra** (1948-2010) και γνωρίζουμε σήμερα ότι περιέχει μεταξύ άλλων και τα υπερσμήνη του Ηρακλή, της Κόμης και του Λέοντα. Μπορεί, μάλιστα, να είναι και ακόμα μεγαλύτερο από τις διαστάσεις που προαναφέραμε, γιατί η σκόνη και τα αέρια του Γαλαξία μας εμποδίζουν τις παρατηρήσεις μας, και έτσι οι αστρονόμοι δεν είναι απολύτως σίγουροι εάν το Μεγάλο Τείχος εκτείνεται περισ-

σότερο από όσο μπορούν να παρατηρήσουν με τα αστρονομικά τους όργανα. Στις 20 Οκτωβρίου 2003, μάλιστα, αστρονόμοι του Πανεπιστημίου Princeton ανακοίνωσαν την ανακάλυψη μίας ακόμη μεγαλύτερης δομής, γνωστής ως το **Μεγάλο Τείχος Sloan**. Το μήκος της, που φτάνει τα 1,38 δισεκατομμύρια έτη φωτός, την κατέτασσε μέχρι τον Ιανουάριο του 2013 στη μεγαλύτερη κοσμική δομή που είχε ανακαλυφθεί στο Σύμπαν.

Σε αντίθεση, όμως, με αυτές τις τεράστιες συσσωρεύσεις ύλης που προαναφέραμε, οι αστρονόμοι άρχισαν να ανακαλύπτουν, ήδη από το 1978, και τεράστιες περιοχές του Διαστήματος, οι οποίες εμπεριείχαν ελάχιστους ή ακόμη και κανέναν γαλαξία. Έτσι, με τη βοήθεια των επισκοπήσεων που πραγματοποιήθηκαν έως τώρα, καθώς και με αυτές που συνεχίζουν να διεξάγονται στην προσπάθεια των επιστημόνων να χαρτογραφήσουν

τη δομή του Σύμπαντος, άρχισε σιγά-σιγά να συνειδητοποιείται ότι όσα περιγράψαμε πιο πάνω δεν είναι παρά μια μικρογραφία του Σύμπαντος. Μια μικρογραφία, η οποία επαναλαμβανόμενη σε όλο και μεγαλύτερα διαστήματα σχηματίζει δομές πολύ μεγάλης κλίμακας, οι οποίες αποκτούν πλέον εμφάνιση παρόμοια με αυτήν του αφρού. Ένα αχανές σύμπλεγμα, δηλαδή, από γιγαντιαίες «φουσαλίδες», που περιέχουν ελάχιστους ή και καθόλου γαλαξίες, η επιφάνεια των οποίων καλύπτεται από ένα εξίσου αχανές «δίκτυο» νηματοειδών δομών σκοτεινής ύλης, μέσω του οποίου «συνδέονται» μεταξύ τους τα γαλαξιακά σμήνη και υπερσμήνη, που εμφανίζονται διάσπαρτα ως «κόμβοι» συσσωρευμένης μάζας. Απ' όσα, δηλαδή, αναφέραμε ως τώρα, είναι εμφανές ότι οι δομές μικρής και μεγάλης κλίμακας στο Σύμπαν «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 τεράστιες κενές «φουσαλίδες» Διαστήματος. Πολύ περισσότερο, χάρη στις μεγάλης έκτασης αστρονομικές επισκοπήσεις, αλλά και στις προσομοιώσεις σε υπερυπολογιστές, που έχουν ως τώρα πραγματοποιηθεί, το Κοσμολογικό Αξίωμα, σύμφωνα με το οποίο το Σύμπαν είναι ομοιογενές και ισότροπο, φαίνεται να επιβεβαιώνεται.

Και όμως, όπως θα πρέπει να έχει ήδη γίνει κατανοητό, παρόλο που γνωρίζουμε ήδη αρκετά για τον κοσμικό χωρόχρονο στον οποίο ζούμε, μόλις

πρόσφατα αρχίσαμε να κατανοούμε πόσα ακόμη έχουμε να μάθουμε. Πράγματι, σύμφωνα με τα όσα προαναφέραμε, παρά την εντυπωσιακή πρόοδο που έχει σημειώσει ο άνθρωπος, προκύπτει κάτι εξίσου εντυπωσιακό, που αναδεικνύει παράλληλα και τον όγκο της άγνοιάς μας για το Σύμπαν στο οποίο ζούμε. Σήμερα, 2.500 χρόνια από τότε που οι προσωκρατικοί Έλληνες φιλόσοφοι πρώτοι προσπάθησαν να εξηγήσουν «αυτόν τον κόσμο τον μικρό τον μέγα» με ορθολογικό τρόπο, έναν σχεδόν αιώνα μετά τη μεγάλη επιστημονική επανάσταση του 20<sup>ου</sup> αιώνα που βασίστηκε στην Κβαντική Φυσική και στη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, αλλά και 15 χρόνια μετά την επιβεβαίωση της επιταχυνόμενης διαστολής του Σύμπαντος, μπορούμε να ισχυριστούμε ότι κατανοούμε μόλις το 4,9% της συνολικής του ύλης και ενέργειας. Εκτός αυτού, μια σειρά από κορυφαία κοσμολογικά ερωτήματα εξακολουθούν να παραμένουν αναπάντητα.

Διαπιστώνουμε, δηλαδή, ακόμη και τώρα, ότι οι γνώσεις μας για όλους αυτούς τους γαλαξίες, για όλες αυτές τις δομές, για όλα όσα εμπεριέχει το Σύμπαν, αντιστοιχούν στο απειροελάχιστο μόνο τμήμα της πραγματικότητας. Ο Νεύτωνας είχε, σίγουρα, περιγράψει ακριβέστερα το μέγεθος της άγνοιάς μας αυτής, όταν έλεγε: «... στα δικά μου μάτια φαίνομαι απλά σαν ένα αγόρι που παίζει στην ακροθαλασσιά: πού και πού διασκεδάζω, ανακαλύπτοντας ένα πιο λείο βότσαλο ή ένα κοχύλι πιο όμορφο από τα συνηθισμένα, ενώ ο μεγάλος ωκεανός της αλήθειας απλώνεται ανεξερεύνητος εμπρός μου».



### 3. Ταξιδεύοντας στον Γαλαξία

Κάθε βράδυ, όταν ο ουρανός έχει ξαστεριά, τα πάντα μοιάζουν γαλήνια και ειρηνικά. Κι όμως, το τι βλέπουμε εκεί πάνω δεν είναι παρά μια «καλοστημένη απάτη»! Γιατί στα μονοπάτια των άστρων του **Γαλαξία** μας, δεν θα βρούμε έναν ήρεμο και αναλλοίωτο κόσμο, αλλά αντίθετα τις συχνά βίαιες φυσικές διεργασίες μιας αέναης γένεσης και καταστροφής. Πραγματικά, χάρη στην πρόοδο της αστρονομικής έρευνας και της διαστημικής επιστήμης, χάρη στην εξέλιξη των οργάνων και εργαστηρίων που διαθέτουμε, οι θαυμαστοί, παράξενοι κόσμοι του Γαλαξία μας παρελαύνουν μπροστά από τα έκθαμβα μάτια μας.

Αυτή την Κοσμική μας Οδύσσεια με προορισμό ορισμένα από τα «θαύματα» του Γαλαξία θα την ξεκινήσουμε, «ταξιδεύοντας» πρώτα απ' όλα στα εξωτερικά του όρια, για να πάρουμε μια πρώτη γεύση της περιοχής στην οποία θα περιηγηθούμε. Από εκεί έξω μπορούμε να ατενίσουμε τη γαλαξιακή μας πολιτεία των 200-400 δισεκατομμυρίων άστρων σε όλη της τη μεγαλοπρέπεια. Από ένα φανταστικό διαστημόπλοιο, το οποίο βρίσκεται πάνω από το επίπεδο του γαλαξιακού δίσκου, μπορούμε να διακρίνουμε τις σπείρες των δισεκατομμυρίων άστρων που σφικταγκαλιάζουν την κεντρική ράβδο άστρων, αερίων και σκόνης που βρίσκεται στον γέρικο πυρήνα του. Εκεί ακριβώς, σε απόσταση 28.000 ετών φωτός, στην πιο πλούσια σε αστρικές ομάδες και νεφελώματα περιοχή της Γαλαξιακής ζώνης, οι αστρονόμοι εντόπισαν μία ισχυρή πηγή ραδιοακτινοβολίας, όπου βρίσκεται το πιο παράξενο απ' όλα τα θαυμαστά ουράνια σώματα του Γαλαξία μας: μια τεράστια **μαύρη τρύπα**. Η μαύρη τρύπα του Γαλαξία μας περιβάλλεται από έναν φωτεινό δίσκο αστρούλικών και καταβροχθίζει κυριολεκτικά οτιδήποτε «τολμήσει» να την πλησιάσει, με αποτέλεσμα τη συνεχή αύξηση της μάζας της, η οποία υπολογίζεται ότι είναι 4 εκατομμύρια φορές μεγαλύτερη απ' αυτήν του Ήλιου. Αντίθετα, εάν από το φανταστικό μας διαστημόπλοιο βλέπαμε τον Γαλαξία μας σε προφίλ, θα διακρίναμε μια σκοτεινή ζώνη αερίων και σκόνης, η οποία φαίνεται να τον χωρίζει στα δύο.

Οι σπείρες του Γαλαξία είναι αρκετά πιο φωτεινές απ' ό,τι ο δίσκος του, γιατί φωτίζονται από λαμπερά νέα άστρα, τα οποία γεννήθηκαν σχετικά

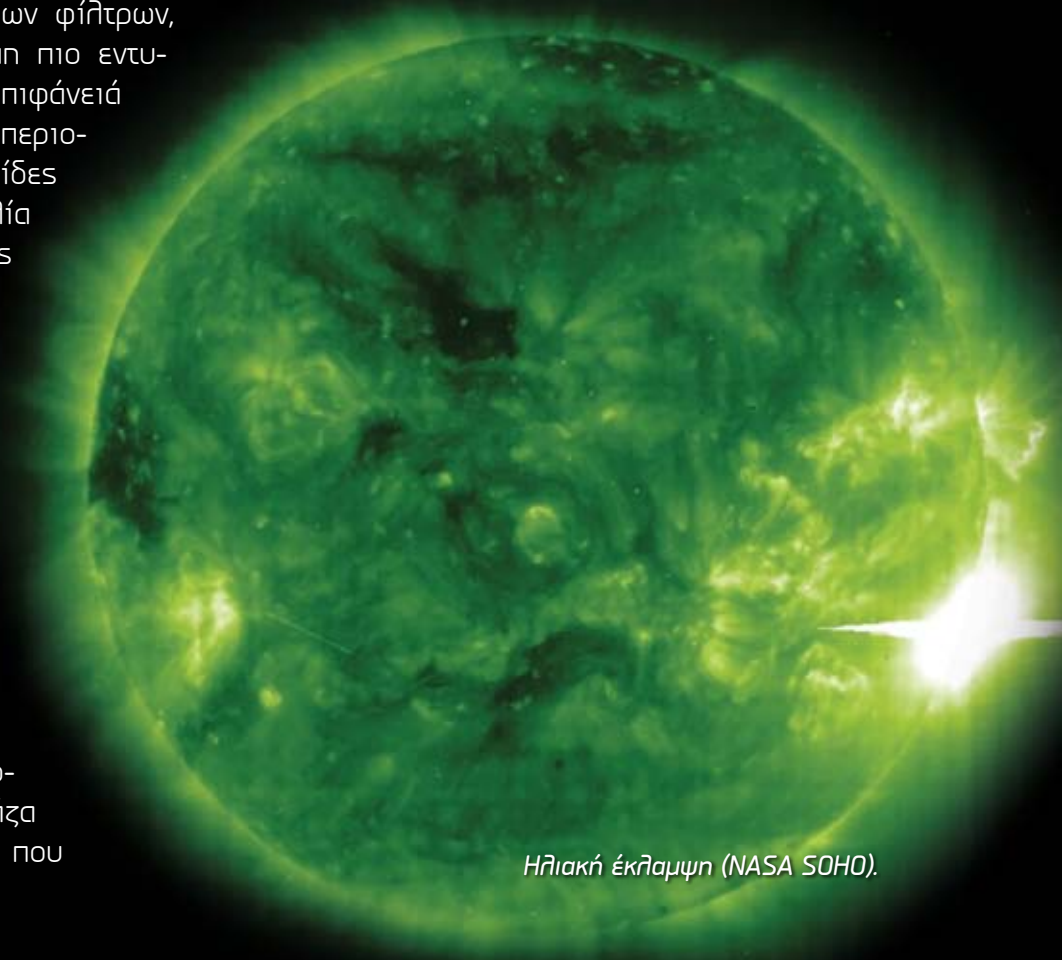
πρόσφατα μέσα στα σύννεφα αερίων και σκόνης που εμπεριέχουν. Ο γαλαξιακός δίσκος, αντίθετα, περιβάλλεται από ένα σφαιρικό «φωτοστέφανο», που αποτελείται από ηλικιωμένα αμυδρά άστρα και από διάσπαρτα σφαιρωτά σμήνη αρχέγονων άστρων. Όλα αυτά τα άστρα περιφέρονται γύρω από το γαλαξιακό κέντρο μαζί με τον Ήλιο μας, που χρειάζεται περίπου 250 εκατομμύρια χρόνια για να συμπληρώσει μία πλήρη τροχιά γύρω από το κέντρο του Γαλαξία. Στα πέντε δισεκατομμύρια χρόνια, από τότε που γεννήθηκε ο Ήλιος, το Ηλιακό Σύστημα υπολογίζεται ότι έχει κάνει αυτή την τροχιά 20-25 περίπου φορές. Ολόκληρος ο γαλαξιακός δίσκος έχει διάμετρο τουλάχιστον 100.000 ετών φωτός, που σημαίνει ότι μια ακτίνα φωτός, κινούμενη με ταχύτητα 300.000 km/s, χρειάζεται 100.000 χρόνια για να διασχίσει τον Γαλαξία από τη μία άκρη στην άλλη. Ο Ήλιος μας βρίσκεται στα δύο τρίτα περίπου της απόστασης από το κέντρο προς τα άκρα του γαλαξιακού δίσκου, και ανάμεσα σε δύο από τους βραχίονες του Γαλαξία μας.

Στην Κοσμική αυτή Οδύσσεια βία υπάρχει παντού, ακόμη και σ' αυτό το πλησιέστερο σε 'μας άστρο, τον Ήλιο. Με γυμνό μάτι, το άστρο της ημέρας φαίνεται να παραμένει σταθερό, λάμποντας με τον ίδιο τρόπο συνεχώς. Και όμως, αν τον παρατηρήσουμε προσεκτικά, ο Ήλιος αποδεικνύεται ότι είναι ένας τόπος έντονης δραστηριότητας. Αν μπορούσαμε, για παράδειγμα, να εισχωρήσουμε βαθιά στο εσωτερικό του, θα βρισκόμασταν σε μια πραγματικά χαώδη κόλλαση 15.000.000 °C, σ' έναν τεράστιο θερμοπυρηνικό αντιδραστήρα, που είναι και η πηγή κάθε αστρικής δύναμης. Από μια από-

σταση, η ορατή επιφάνεια του Ήλιου, η **φωτόσφαιρα**, μοιάζει κι αυτή να είναι ήρεμη και καθα-ρια. Αν την παρατηρήσουμε όμως με τη βοήθεια των επιστημονικών μας οργάνων, μετατρέπεται σ' ένα φλεγόμενο τοπίο. Σκοτεινές κηλίδες, διασκορπισμένες, εδώ και εκεί, σηματοδύουν τις τοποθεσίες όπου το μαγνητικό πεδίο του Ήλιου διαπερνά την επιφάνεια και σπρώχνει καυτά αέρια προς τα πάνω, μέσα στην ηλιακή **χρωμόσφαιρα**. Με ειδικά υπεριώδη φίλτρα ο Ήλιος μετατρέπεται σ' ένα πολύχρωμο μωσαϊκό με φλογισμένους πίδακες, ενώ τεράστιοι χείμαρροι ύλης ξεχύνονται αψιδωτά εκατοντάδες χιλιάδες χιλιόμετρα μέσα στο Διάστημα. Με τη βοήθεια άλλων φίλτρων, ακτίνων X, ο Ήλιος φαίνεται ακόμη πιο εντυπωσιακός. Η κανονικά φωτισμένη επιφάνειά του φαίνεται να είναι σκοτεινή. Οι περιοχές όμως γύρω από τις ηλιακές κηλίδες είναι κατάφωτες από την ακτινοβολία X που εκπέμπεται. Από τις περιοχές αυτές προέρχονται ορισμένες εκρήξεις, που ονομάζονται **εκλάμψεις**, και εκτινάσσονται με τη βιαιότητα εκατομμυρίων βομβών υδρογόνου, διαχέοντας στο Διάστημα τεράστιες ποσότητες υπέρθερμου πλάσματος.

Αυτή μας η θέση στον Γαλαξία προσδιορίζει και όλα όσα βλέπουμε από τη Γη στον νυχτερινό ουρανό. Όταν κοιτάζουμε προς το επίπεδο του Γαλαξιακού δίσκου, μπορούμε να διακρίνουμε τη μεγάλη μάζα των νεφελωμάτων και των άστρων που

τον αποτελούν. Η φωτεινή λοιπόν λωρίδα που διασχίζει τον ουρανό, η «Γαλαξία Οδός» των αρχαίων, δεν είναι τίποτε άλλο από το επίπεδο του δίσκου του Γαλαξία μας, όπως αυτός φαίνεται από τη δική μας γήινη σκοπιά στο εσωτερικό του. Υπάρχουν όμως κι άλλες όψεις του Γαλαξία, που φαίνεται να παρουσιάζουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Κάθε βράδυ μερικά από τα λαμπρότερα άστρα του ουρανού μας προσκαλούν να σηκώσουμε το κεφάλι προς τα πάνω και να τα θαυμάσουμε, ιδιαίτερα μάλιστα όταν η παρατή-



Ηλιακή έκλαμψη (NASA SOHO).

ρηση γίνεται από κάποια εξοχική περιοχή, όπου τα φώτα και η ρύπανση του περιβάλλοντος είναι ελάχιστα. Οι αποστάσεις όμως που μας χωρίζουν από τα υπόλοιπα άστρα του Γαλαξία μας, ακόμη και τα πιο κοντινά, είναι τεράστιες για τα ανθρώπινα δεδομένα. Αν όμως, με τα φτερά της φαντασίας μας, επισκεπτόμασταν κάποιο απ' αυτά, για παράδειγμα τον Σείριο, το λαμπρότερο άστρο του ουρανού στον αστερισμό του Μεγάλου Κυνός και σε απόσταση «μόλις» 8,6 ετών φωτός, θα βλέπαμε ότι το άστρο αυτό στην πραγματικότητα δεν είναι ένα μόνο αλλά δύο άστρα, τα οποία περιφέρονται γύρω από το κοινό κέντρο βάρους τους. Ο Σείριος, βέβαια, δεν αποτελεί την εξαίρεση, αφού γνωρίζουμε σήμερα ότι τουλάχιστον το 50% των άστρων σαν τον Ήλιο και το 25% των κόκκινων νάνων (δηλαδή άστρων μικρότερων απ' τον Ήλιο και με μικρότερη επιφανειακή θερμοκρασία) στον

Γαλαξία μας ανήκουν σε παρόμοια διπλά, τριπλά ή και πολλαπλά συστήματα άστρων, που περιφέρονται το ένα γύρω από το άλλο χάρη στην αμοιβαία τους βαρυτική έλξη. Για παράδειγμα, ένα διπλό αστρικό σύστημα αποτελείται από δύο άστρα που περιφέρονται γύρω από το κοινό κέντρο βάρους τους. Στην περίπτωση που τα δύο άστρα έχουν παραπλήσιες μάζες, αυτό το κοινό βαρυτικό σημείο βρίσκεται στο μέσον της μεταξύ τους απόστασης. Εάν, όμως, η μάζα του ενός είναι πολλαπλάσια της μάζας του άλλου, τότε το κοινό κέντρο βάρους τους βρίσκεται στο εσωτερικό του μεγαλύτερου άστρου και το μικρότερο φαίνεται να περιφέρεται γύρω από τον μεγάλο του αδελφό, ενώ το μεγαλύτερο απλώς φαίνεται να «παραπαίει».

Στα πολλαπλά, όμως, αστρικά συστήματα οι δι-

αφορετικές «χορογραφικές διαμορφώσεις» των τροχιακών τους σχηματισμών περιπλέκονται αρκετά. Στον αστερισμό των Διδύμων, για παράδειγμα, με τα λαμπερά του άστρα, τον Κάστορα και τον Πολυδέυκη, ο Κάστωρ ανακαλύφθηκε ότι είναι ένα εξαπλό αστρικό σύστημα. Σε απόσταση 50 ετών φωτός, τα «εξάδυμα» αυτά αποτελούνται από δύο λαμπερά άστρα, καθένα απ' τα οποία είναι στην πραγματικότητα διπλό, ενώ στο σύστημα αυτό ανακαλύφθηκε ένα ακόμη αμυδρό διπλό αστρικό σύστημα, αποτελούμενο από δύο κόκκινους νάνους με περίοδο περιφοράς 20 μόνον ωρών.

Το 2005, μάλιστα, το διαστημικό τηλεσκόπιο ακτίνων Χ **Chandra** μελέτησε το διπλό σύστημα άσπρων νάνων **J0806**, τα οποία περιφέρονται το ένα γύρω από το άλλο σε διάστημα 321 sec, ενώ η περίοδος αυτή –και κατά συνέπεια η μεταξύ

τους απόσταση– συνεχώς μειώνεται. Η απόσταση των δύο αυτών άστρων δεν είναι μεγαλύτερη των 80.000 km, όταν η απόσταση της Σελήνης από τη Γη είναι 400.000 km. Σύμφωνα με τη Γενική Σχετικότητα του Αϊνστάιν, οι σπειροειδείς κύκλοι του συστήματος αυτού, κυρίως όμως η μελλοντική αλλά αναπόφευκτη σύγκρουση των δύο άσπρων νάνων, δημιουργούν **βαρυτικά κύματα**, και η επισταμένη μελέτη αυτού του συστήματος θα είναι ένας από τους πρώτους στόχους των μελλοντικών διαστημοσυσκευών που θα ανιχνεύουν αυτές τις «φευγαλιές» διακυμάνσεις στην ίδια την υφή του χωροχρόνου.

Υπάρχουν όμως και άστρα που ανήκουν σε πολύ πιο μεγάλες ομάδες, τα επονομαζόμενα **ανοιχτά** και **σφαιρωτά αστρικά σμήνη**. Τα ανοιχτά σμήνη εντοπίζονται κυρίως στο επίπεδο του γαλαξιακού

Η «Γαλαξία Οδός» των αρχαίων, όπως φαίνεται από το Paranal της Χιλής, όπου βρίσκεται εγκατεστημένο το τηλεσκόπιο VLT του Ευρωπαϊκού Νότιου Αστεροσκοπείου (ESO/H.H. Heyer).



δίσκου και αποτελούνται συνήθως από μερικές εκατοντάδες άστρα, συγκεντρωμένα σε μια περιοχή που δεν υπερβαίνει τα 30 έτη φωτός. Το πιο εμφανές, και το πιο όμορφο από τα σμήνη αυτά είναι χωρίς αμφιβολία το σμήνος των **Πλειάδων**, γνωστότερο στον λαό μας με την ονομασία **Πούλια**, σε απόσταση 400 ετών φωτός. Τα εμφανή με γυμνό μάτι επτά άστρα των Πλειάδων, καθώς και μερικές ακόμη εκατοντάδες άλλα, που φαίνονται μόνο με τα μεγάλα τηλεσκόπια, γεννήθηκαν συγχρόνως όλα μαζί σ' ένα τεράστιο νεφέλωμα αερίων και σκόνης, πριν από μόλις 100 εκατομμύρια χρόνια, ενώ από τότε «ταξιδεύουν» παρέα στο Διάστημα. Τα ανοιχτά, όμως, σμήνη σαν τις Πλειάδες δεν διαρκούν για πάντα. Καθώς στον διαστημικό τους «περίπατο» συναντούν διάφορα διαστρικά νεφέλωμα και άλλα μεμονωμένα άστρα, οι βαρυτικές δυνάμεις που εφαρμόζονται πάνω τους τα κάνουν σιγά-σιγά να διαλύονται. Κάθε νέα αποχώρηση από το σμήνος ελαττώνει τη βαρυτική συνοχή του κάνοντάς το ακόμη πιο επιρρεπές στις «λιποταξίες», με τελικό αποτέλεσμα την ολοκληρωτική διάλυσή του. Μερικά ηλικιωμένα ανοιχτά σμήνη που βλέπουμε στον ουρανό βρίσκονται στο τέλος της «ζωής» τους και παρουσιάζουν μια πραγματικά «αξιολύπητη» εμφάνιση, ενώ πολύ σύντομα θα διασπασθούν τελείως.

Πολύ πιο ηλικιωμένα, πολύ πιο μεγάλα και πολύ πιο θεαματικά είναι τα σφαιρωτά σμήνη, καθένα απ' τα οποία περιλαμβάνει από μερικές δεκάδες χιλιάδες έως και μερικά εκατομμύρια άστρα, συσσωσμένα σε μια περιοχή που συνήθως δεν υπερβαίνει τα 150 έτη φωτός, με χαρακτηριστικότερο παράδειγμα το σφαιρωτό σμήνος **Ωμέγα Κε-**

**νταύρου**. Τα σφαιρωτά σμήνη είναι τα αρχαιότερα ίσως αντικείμενα του Γαλαξία μας και κατανέμονται με σφαιρικό περίπου τρόπο στη γαλαξιακή άλω που τον περιβάλλει. Επειδή όμως περιλαμβάνουν τόσα πολλά άστρα, η συνολική βαρυτική έλξη μεταξύ των άστρων που τα αποτελούν είναι αρκετά ισχυρή, ώστε να διασφαλίσει τη συνοχή τους για δισεκατομμύρια χρόνια, σε αντίθεση με τα ανοιχτά σμήνη που προαναφέραμε.

Ας επισκεφτούμε, όμως, τώρα έναν πλανήτη που φωτιζόταν κάποτε από έναν τεράστιο ήλιο με 10 φορές πιο πολλά υλικά απ' όσα έχει ο δικός μας Ήλιος. Ένα τέτοιο άστρο στο τέλος της ζωής του αλλάζει συνεχώς την κατάστασή του και το μέγεθός του, μέχρις ότου μια τελική τεράστια έκρηξη το διαλύει εκσφενδονίζοντας ολόγυρα τα αέρια που το αποτελούν. Αυτού του είδους τα μεγάλα άστρα καταναλώνουν τα πυρηνικά τους καύσιμα τόσο γρήγορα, ώστε ζουν για λίγες μόνο δεκάδες εκατομμύρια χρόνια μέχρι τον θάνατό τους. Ο πυρήνας τους, όμως, «επιβιώνει» και μετά την έκρηξη, με τη μορφή ενός περιστρεφόμενου **αστέρα νετρονίων**, δηλαδή ενός **πάλσαρ**. Τα λείψανα παρόμοιων «πεθαμένων» άστρων μοιάζουν με το νεφέλωμα **Καρκίνος**, που βρίσκεται σε απόσταση 6.500 ετών φωτός, στον αστερισμό του Ταύρου.

Άλλα, πάλι, άστρα, παρόμοιας μάζας με τον Ήλιο αλλά κατά πολύ γηραιότερα, αποβάλλουν τεράστιες ποσότητες ύλης και ενέργειας, εκτινάσσοντας στο Διάστημα την εξωτερική τους ατμόσφαιρα, που σχηματίζει γύρω τους διαστελλόμενα νέφη αερίων, στο κέντρο των οποίων το λείψανο του κάθε άστρου έχει συμπιεστεί σ' έναν **άστρο**

**νάνο**. Στο παρελθόν, από τα μικρά τότε τηλεσκόπια που ήταν διαθέσιμα στους αστρονόμους, τα ουράνια αυτά σώματα φαίνονταν να μοιάζουν με πλανήτες, και γι' αυτό ονομάστηκαν **πλανητικά νεφελώματα**. Παρατηρώντας τα διάφορα αυτά πλανητικά νεφελώματα παίρνουμε μία πρώτη γεύση από τον θάνατο που αναμένει τον Ήλιο μας σε περίπου 7 δισεκατομμύρια χρόνια από σήμερα. Στον αστερισμό του Δράκου, για παράδειγμα, και σε απόσταση 3.000 ετών φωτός από τη Γη, βρίσκεται το επονομαζόμενο **Μάτι της Γάτας** (NGC6543), ένα πλανητικό νεφέλωμα με μια ιδιαίτερα πολύπλοκη δομή. Στον αστερισμό του Λαγού, από την άλλη, και σε απόσταση 2.000 ετών φωτός από τη Γη, το πλανητικό νεφέλωμα **IC 418** λάμπει με την όψη ενός πολυ-επίπεδου διαμαντιού. Πριν από μερικές χιλιάδες χρόνια, το άστρο στο κέντρο του ήταν ένας **κόκκινος γίγαντας** που εκτίναξε τα εξωτερικά του αέρια στρώματα στο Διάστημα σχηματίζοντας έτσι το νεφέλωμα αυτό που σήμερα έχει διάμετρο 0,1 έτους φωτός. Το αστρικό λείψανο στο κέντρο του είναι ο υπέρθερμος πυρήνας του κόκκινου γίγαντα, και το οποίο πλημμυρίζει με υπεριώδη ακτινοβολία το περιβάλλον αέριο σύννεφο αναγκάζοντάς το να λαμπαυρίζει.

Η θεαματική όμως εμφάνιση δεν περιορίζεται μόνο στα άστρα που βρίσκονται στο τέλος της ζωής τους. Για παράδειγμα, το άστρο **IRS4**, σε απόσταση 2.000 ετών φωτός στον αστερισμό του Κύκνου, γεννήθηκε σχετικά πρόσφατα, πριν από μόλις 100.000 χρόνια, και έκτοτε εκπέμπει μεγάλες ποσότητες υπέρθερμων αερίων, που έχουν σχηματίσει το νεφέλωμα **S106** με έκταση δύο ετών φωτός. Ένας μεγάλος δίσκος υλικών γύρω



Το νεφέλωμα Μάτι της Γάτας [NASA, ESA, HEIC, Hubble Heritage Team (STScI/AURA)].

από το νεαρό αυτό άστρο δίνει στο νεφέλωμα τη μορφή πεταλούδας, ενώ η λεπτομερής διερεύνηση αυτής της περιοχής μάς αποκάλυψε εκατοντάδες **καφέ νάνους**, δηλαδή ουράνια σώματα που ουδέποτε συσώρευσαν πάνω τους την ελάχιστη ύλη που απαιτείται για την έναρξη των θερμοπυρηνικών αντιδράσεων σύντηξης στο εσωτερικό τους. Οι καφέ νάνοι, όμως, έχουν εντοπισθεί και αλλού, όπως στο **Μεγάλο Νεφέλωμα του Ωρίωνα**, ένα πραγματικό «βρεφοκομείο άστρων», σε απόσταση 1.500 ετών φωτός μακριά μας. Οι 50 περίπου καφέ νάνοι που ανακαλύφθηκαν εκεί είναι κι αυτοί «αποτυχημένα» άστρα, όπως τα ονομάζουν οι αστρονόμοι, αφού τα αέρια υλικά τους είναι τόσο λίγα, ώστε δεν έχουν κατορθώσει να αρχίσουν τις θερμοπυρηνικές διεργασίες μετα-



Το νεφέλωμα S106  
[NASA, ESA, the Hubble Heritage Team  
(STScI/AURA) and NAOJ].

τροπής του υδρογόνου σε ήλιο και να λάμπουν έτσι όπως τα άλλα άστρα.

Το **Νεφέλωμα Λιμνοθάλασσα** είναι κι αυτό ένα από τα δεκάδες παρόμοια νεφελώματα αερίων και σκόνης. Βρίσκεται σε απόσταση 5.000 ετών φωτός από τη Γη στον αστερισμό του Τοξότη και είναι ένα ακόμη αντιπροσωπευτικό δείγμα των νεφελωμάτων, στο εσωτερικό των οποίων γεννιούνται τα άστρα. Στην κεντρική περιοχή του νεφελώματος εμφανίζονται δύο παράξενες στήλες, που μοιάζουν με γιγάντιους διαστρικούς ανεμοστρό-

βίλους. Φωτισμένο κυρίως από το κοκκινωπό κεντρικό άστρο **Herschel 36**, μας αποκαλύπτει τη λαμπρότερη περιοχή του που, εξαιτίας του σχημάτος της ονομάζεται **Νεφέλωμα Κλειψύδρα**. Οι τεράστιες αυτές στήλες δημιουργούνται από τις μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας που υφίστανται ανάμεσα στην υπέρθερμη επιφάνεια και τις ψυχρές περιοχές του εσωτερικού των νεφών του νεφελώματος, σε συνδυασμό με την πίεση που ασκεί το αστρικό φως το οποίο προέρχεται από πολλά άλλα υπέρθερμα άστρα. Μπορούμε επίσης να δούμε και διάφορα άλλα μικρότερα χαρακτηριστικά στο διαστρικό περιβάλλον, όπως είναι ορισμένα αστρικά σφαιρίδια νεογέννητων αστρικών εμβρύων, κύματα κρούσης, ιονισμένες δομές, κόμβους και πίδακες.

Όσα περιγράψαμε ως τώρα δεν είναι παρά ελάχιστα μόνο δείγματα των πανέμορφων, παράξενων και συχνά βίαιων ουράνιων αντικειμένων και φαινομένων του Γαλαξία μας, που μελετάμε με τη βοήθεια των σύγχρονων αστρονομικών μας οργάνων. Γιατί οι σύγχρονες αυτές μελέτες μάς κάνουν καθημερινά να διαπιστώσουμε ότι τα όρια του Σύμπαντος συνεχώς διευρύνονται. Ίσως πάλι να ήταν πιο σωστό αν λέγαμε ότι στην πραγματικότητα δεν άλλαξε τίποτα από την αρχαιότητα παρά ο τρόπος που εμείς ερμηνεύουμε όλα όσα παρατηρούμε. Γιατί πίσω από τα μάτια μας έχουμε σήμερα τις γνώσεις 2,5 χιλιάδων χρόνων και γιατί, όπως πολύ σωστά είχε πει κάποτε και ο **Ισαάκ Νεύτων** (1642-1726): «*Αν κατόρθωσα να δω μακρύτερα από τους προηγούμενους ερευνητές, το οφείλω αποκλειστικά και μόνο στο γεγονός ότι στεκόμουν πάνω στους ώμους γιγάντων*».



Το νεφέλωμα του Ωρίωνα  
[NASA, ESA, M. Robberto (Space Telescope Science Institute/ESA) and  
the Hubble Space Telescope Orion Treasury Project Team].



#### 4. Κοσμικά σύννεφα και αστρογένεση

Κάθε βράδυ, όταν κοιτάζουμε τον ουρανό, ιδιαίτερα στη διάρκεια των καλοκαιρινών μας διακοπών, αυτό που μπορούμε να δούμε με γυμνό μάτι περιορίζεται στα λαμπρότερα μόνο άστρα, που στολίζουν σαν διαμάντια τον νυχτερινό θόλο. Με την ανάπτυξη όμως των τηλεσκοπίων και τη διεύρυνση των αστρονομικών μας γνώσεων διαπιστώσαμε ότι ο χώρος μεταξύ των άστρων του Γαλαξία μας δεν είναι, όπως νομίζαμε, κενός από ύλη, αλλά εμπεριέχει άτομα και μόρια όλων των χημικών στοιχείων, και ιδιαίτερα το πιο διαδεδομένο και ελαφρύ απ' αυτά, το υδρογόνο.



Με μέση πυκνότητα μόλις 1 άτομο/cm<sup>3</sup>, αυτή η **μεσοαστρική ύλη** αντιστοιχεί περίπου στο 10-15% της συνολικής ορατής ύλης του Γαλαξία μας και αποτελείται κατά κύριο λόγο από 99% αέρια και 1% σκόνη. Στο μεγαλύτερο τμήμα της, η αέρια μεσοαστρική ύλη είναι αρχέγονο υδρογόνο και ήλιο, τα οποία σχηματίστηκαν στα πρώτα λεπτά μετά τη Μεγάλη Έκρηξη, καθώς και από ίχνη βαρύτερων στοιχείων, τα οποία συντήχθηκαν πολύ αργότερα στο εσωτερικό των άστρων. Η μεσοαστρική σκόνη, από την άλλη, είναι μικρο-

σκοπικά σωματίδια, τα οποία αποτελούνται ως επί το πλείστον από ενώσεις άνθρακα, πυριτίου και οξυγόνου, καθώς και πάγο. Σε γενικές γραμμές, η μέση πυκνότητα της μεσοαστρικής ύλης στον Γαλαξία μας, αλλά και σε κάθε άλλο σπειροειδή ή ακανόνιστο γαλαξία, είναι τόσο χαμηλή, που δύσκολα μπορεί να ανιχνευθεί. Συχνά, όμως, είναι δυνατό να σχηματίσει πολύ πυκνότερες συσσωρεύσεις αερίων και σκόνης, οι οποίες συγκροτούν τα επονομαζόμενα **νεφελώματα**. Εάν εξαιρέσουμε τα πλανητικά νεφελώματα, τα οποία

σχετίζονται με τα τελευταία στάδια της εξέλιξης άστρων σαν τον Ήλιο και στα οποία θα αναφερθούμε παρακάτω, οι βασικές κατηγορίες νεφελωμάτων είναι τρεις: τα **νεφελώματα εκπομπής**, τα **νεφελώματα ανάκλασης** και τα **σκοτεινά νεφελώματα**.

Τα **νεφελώματα εκπομπής** αποτελούνται κυρίως από ουδέτερο ατομικό υδρογόνο, το οποίο όμως έχει ιονισθεί από τις μεγάλες ποσότητες υπεριώδους ακτινοβολίας που εκπέμπουν τα γειτονικά τους νεαρά, γιγάντια και υπέρθερμα άστρα. Καθώς η υπεριώδης ακτινοβολία «διεγείρει» τα άτομα υδρογόνου, τα ηλεκτρόνια «αποδεσμεύονται» απ' αυτά, σχηματίζοντας έτσι μια «θάλασσα» πλάσματος από ηλεκτρόνια και πυρήνες υδρογόνου. Στη συνέχεια, όμως, τα ηλεκτρόνια μπορούν να επανενωθούν με τους πυρήνες υδρογόνου, σχηματίζοντας και πάλι άτομα υδρογόνου, τα οποία καθώς επανέρχονται στη χαμηλότερη ενεργειακή τους κατάσταση, εκπέμπουν ορατή ακτινοβολία με μήκη κύματος, που αντιστοιχούν κατά κύριο λόγο στο κόκκινο τμήμα του ορατού φωτός. Γι' αυτό εξάλλου και τις περισσότερες φορές τα νεφελώματα αυτού του τύπου έχουν κόκκινο χρώμα. Αυτές οι περιοχές ιονισμένου υδρογόνου έχουν θερμοκρασίες και πυκνότητες που τυπικά κυμαίνονται μεταξύ 10.000-20.000 °C και 10-1.000 ατόμων/cm<sup>3</sup>, ενώ εκτός από υδρογόνο περιέχουν και μικροποσότητες άλλων ατόμων, όπως το ήλιο, ο άνθρακας, το άζωτο, το οξυγόνο κ.λπ., καθένα απ' τα οποία προσδίδει με τον τρόπο που μόλις περιγράψαμε, τη δική του, διαφορετική, χρωματική πινελιά στο νεφέλωμα μέσα στο οποίο βρίσκεται. Όπως θα δούμε και στη συνέχεια, τα νεφελώματα

εκπομπής ή **περιοχές HII**, όπως επίσης ονομάζονται, αποτελούν ένα φυσικό στάδιο εξέλιξης των γιγάντιων μοριακών νεφών, μέσα στα οποία γεννιούνται νέα άστρα.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα νεφελώματος εκπομπής αποτελεί το **Νεφέλωμα Ροζέτα** (NGC 2237-9), που μοιάζει με ένα ανοιχτό κοσμικό τριαντάφυλλο και εκτείνεται σε μία περιοχή του ουρανού πέντε φορές το μέγεθος της πανσελήνου. Οι πραγματικές του διαστάσεις είναι τεράστιες, με διάμετρο που φτάνει τα 130 έτη φωτός, ενώ βρίσκεται σε απόσταση 5.000 ετών φωτός στον αστερισμό του Μονόκερου. Στην κεντρική του περιοχή διακρίνεται ένα ανοιχτό σμήνος νεαρών άστρων (NGC 2244), με ηλικία ενός εκατομμυρίου ετών, το λαμπρότερο από τα οποία είναι ένας κίτρινο-μπλε γίγαντας με φωτεινότητα 2.500 ήλιων.

Στον αστερισμό της Χήνας, από την άλλη, στο νότιο ημισφαίριο, βρίσκεται ο γειτονικός μας ακανόνιστος γαλαξίας, που ονομάζεται **Μεγάλο Νέφος του Μαγγελάνου**. Εκατοντάδες νεφελώματα αερίων και σκόνης έχουν ήδη εντοπισθεί σ' αυτόν τον δορυφορικό μας γαλαξία, μεταξύ των οποίων το πιο θεαματικό είναι το **Νεφέλωμα Ταραντούλα**, σε απόσταση 170.000 ετών φωτός. Με διάμετρο 800 ετών φωτός, το νεφέλωμα αυτό είναι ίσως η μεγαλύτερη και πιο ενεργή περιοχή αστρογένεσης, που έχει εντοπισθεί στην Τοπική Ομάδα των γαλαξιών. Στην καρδιά του νεφελώματος αυτού βρίσκεται το γιγάντιο και συμπαγές αστρικό σμήνος **R136**, η συνολική μάζα του οποίου υπολογίζεται ότι είναι ακόμη και 450.000 φορές μεγαλύτερη απ' αυτήν του Ήλιου,

Το νεφέλωμα εκπομπής Ροζέτα (copyright Robert Gendler 2007).





ενώ εκτείνεται σε μια περιοχή 25 ετών φωτός. Το νεαρό αυτό σμήνος υπολογίζεται ότι έχει ηλικία μικρότερη των 2 εκατομμυρίων ετών και περιλαμβάνει έναν μεγάλο αριθμό τεράστιων σε μάζα άστρων, 39 από τα οποία έχουν ήδη επιβεβαιωθεί ότι ανήκουν σε μια σπάνια φασματική κατηγορία, της οποίας τα μέλη συγκαταλέγονται στα μεγαλύτερα και θερμότερα άστρα που είναι δυνατό να υπάρξουν στο Σύμπαν. Όπως, μάλιστα, ανακοινώθηκε σε έρευνα που δημοσιεύθηκε τον Ιούλιο του 2010, ένα απ' αυτά, το άστρο **R136a1** είναι το άστρο με τη μεγαλύτερη μάζα και φωτεινότητα που έχει ανακαλυφθεί ποτέ. Πραγματικά, με μάζα 265 φορές μεγαλύτερη απ' αυτήν του Ήλιου και σχεδόν 9 εκατομμύρια φορές λαμπρότερο, ο γίγαντας αυτός εικάζεται ότι σχηματίστηκε από συγχωνεύσεις μικρότερων άστρων, καθώς η σύγχρονη αστροφυσική θεωρία αδυνατεί μέχρι στιγμής να εξηγήσει με ποιον άλλο τρόπο θα ήταν δυνατό να σχηματισθούν άστρα τόσο μεγάλης μάζας.

Εκτός, όμως, από το R136, στην ίδια περιοχή του ουρανού που καλύπτει το νεφέλωμα Ταραντούλα, βρίσκεται ένα δεύτερο, αλλά γηραιότερο, αστρικό σμήνος, γνωστό ως **Hodge 301**, η ηλικία του οποίου υπολογίζεται ότι είναι περίπου 10 φορές μεγαλύτερη απ' αυτήν του R136. Γι' αυτό αρκετά από τα άστρα που το απαρτίζουν έχουν ήδη ολοκληρώσει τον κύκλο της ζωής τους και έχουν διαμελισθεί σε κατακλυσμιαίες εκρήξεις σουπερνόβα, εκτοξεύοντας τα υλικά τους στο Διάστημα με ταχύτητες που υπερβαίνουν τα 300 km/s. Στις φωτογραφίες που μας έστειλε το Διαστημικό Τηλεσκόπιο **Hubble** μπορούμε να δούμε ξεκάθαρα τρεις τουλάχιστον κόκκινους υπεργίγαντες που

είναι έτοιμοι να εκραγούν. Και όμως, όπως θα δούμε παρακάτω, αυτές οι θανατηφόρες εκρήξεις βοηθάνε ουσιαστικά στη γέννηση νέων άστρων.

Αντίθετα, τα **νεφελώματα ανάκλασης** αποτελούνται κυρίως από χαμηλότερης θερμοκρασίας μεσοαστρική σκόνη, η οποία ανακλά και σκεδάζει το φως των γειτονικών τους άστρων. Αυτού του είδους τα νεφελώματα έχουν μια γαλαζωπή εμφάνιση, γιατί το μέγεθος των κόκκων σκόνης που εμπεριέχουν είναι συγκρίσιμο με το μήκος κύματος του ορατού φωτός που αντιστοιχεί στο μπλε χρώμα, με αποτέλεσμα να σκεδάζεται περισσότερο το μπλε απ' ό,τι το κόκκινο χρώμα. Συμβαίνει δηλαδή κι εδώ αυτό που συμβαίνει με το Ηλιακό φως και τη σκόνη της γήινης ατμόσφαιρας, η οποία «χρωματίζει» τον ουρανό της ημέρας μ' ένα γαλαζωπό χρώμα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα νεφελώματος ανάκλασης αποτελεί το **Νεφέλωμα Κεφαλής Μάγισσας**, το οποίο λάμπει χάρη στο φως που ανακλά από το άστρο Ρίγκελ, το λαμπρότερο άστρο στον αστερισμό του Ωρίωνα και το έκτο λαμπρότερο στον ουρανό.

Τα **σκοτεινά νεφελώματα**, τέλος, είναι αρκετά πυκνότερα νεφελώματα, τα οποία εμπεριέχουν και πολύ μεγαλύτερες ποσότητες σκόνης. Η μεγάλη τους περιεκτικότητα σε σκόνη τους επιτρέπει να απορροφούν ή/και να σκεδάζουν πλήρως όλο το ορατό φως που προσπίπτει πάνω τους, γεγονός που τα καθιστά αδιαφανή στα ορατά μήκη κύματος. Γι' αυτό και τα σκοτεινά νεφελώματα ξεχωρίζουν, συνήθως, όταν βρίσκονται μπροστά από άλλα άστρα ή νεφελώματα εκπομπής, καθώς η πυκνή σκόνη που εμπεριέχουν «κρύβει» το φως



Το γιγάντιο αστρικό σμήνος R136, στην καρδιά του νεφελώματος Ταραντούλα [NASA, ESA, F. Paresce (INAF-IASF), R. O'Connell (University of Virginia), and the WFC 3 Science Oversight Committee].

αυτών των ουράνιων αντικειμένων, κάνοντας τα σκοτεινά νεφελώματα να ξεχωρίζουν σαν σκοτεινές μουντζούρες σ' ένα φωτεινό φόντο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα σκοτεινού νεφελώματος είναι ο επονομαζόμενος **Σάκος Ανθράκων**, που είναι ορατός στο νότιο ημισφαίριο, στην περιοχή που προσδιορίζεται από τον αστερισμό του νότιου Σταυρού.

Και όμως, αυτά τα νεφελώματα είχαν «δυσκοιλήσει» αρκετά τους αστρονόμους των παρελθόντων ετών. Η ιδέα που είχαν οι αστρονόμοι γι' αυτά είχε λίγο ως πολύ διαμορφωθεί μέσα απ' τις μελέτες του Αγγλογερμανού αστρονόμου **Frederick William Herschel** (1738-1822), ο οποίος αναφερόμενος σε μια νέα σκοτεινή περιοχή που είχε παρατηρήσει, την περιέγραψε ως μια «τρύπα στον ουρανό». Παρ' όλες, όμως, τις επίμονες μελέτες

του, δεν μπόρεσε να φτάσει τελικά σε κάποιο οριστικό συμπέρασμα σχετικά με την προέλευση και τη φύση τους. Έτσι, οι γνώσεις μας για τα σκοτεινά νεφελώματα παρέμειναν το λιγότερο συγκεχυμένες, μέχρις ότου ο Αμερικανός αστρονόμος **Edward Emerson Barnard** (1857-1923) πρότεινε για πρώτη φορά το 1897 ότι αυτές οι σκοτεινές περιοχές του ουρανού έμοιαζαν να είναι «σκεπασμένες με ένα λεπτό πέπλο σκόνης». Μερικά χρόνια αργότερα, το 1904, ο Γερμανός αστρονόμος **Maximilian Wolf** (1863-1932) κατέληξε στο ίδιο περίπου συμπέρασμα με τον Barnard, αλλά ήταν ο συμπατριώτης του **Johannes Hartmann** (1865-1936) αυτός που τελικά απέδειξε ότι ανάμεσα στη Γη και το διπλό αστρικό σύστημα δέλτα Ωρίωνα βρισκόταν ένα αέριο νέφος, το οποίο εμπεριείχε άτομα ασβεστίου. Τέσσερα χρόνια αργότερα, ο Ολλανδός αστρονόμος **Jacobus Kapteyn** (1851-

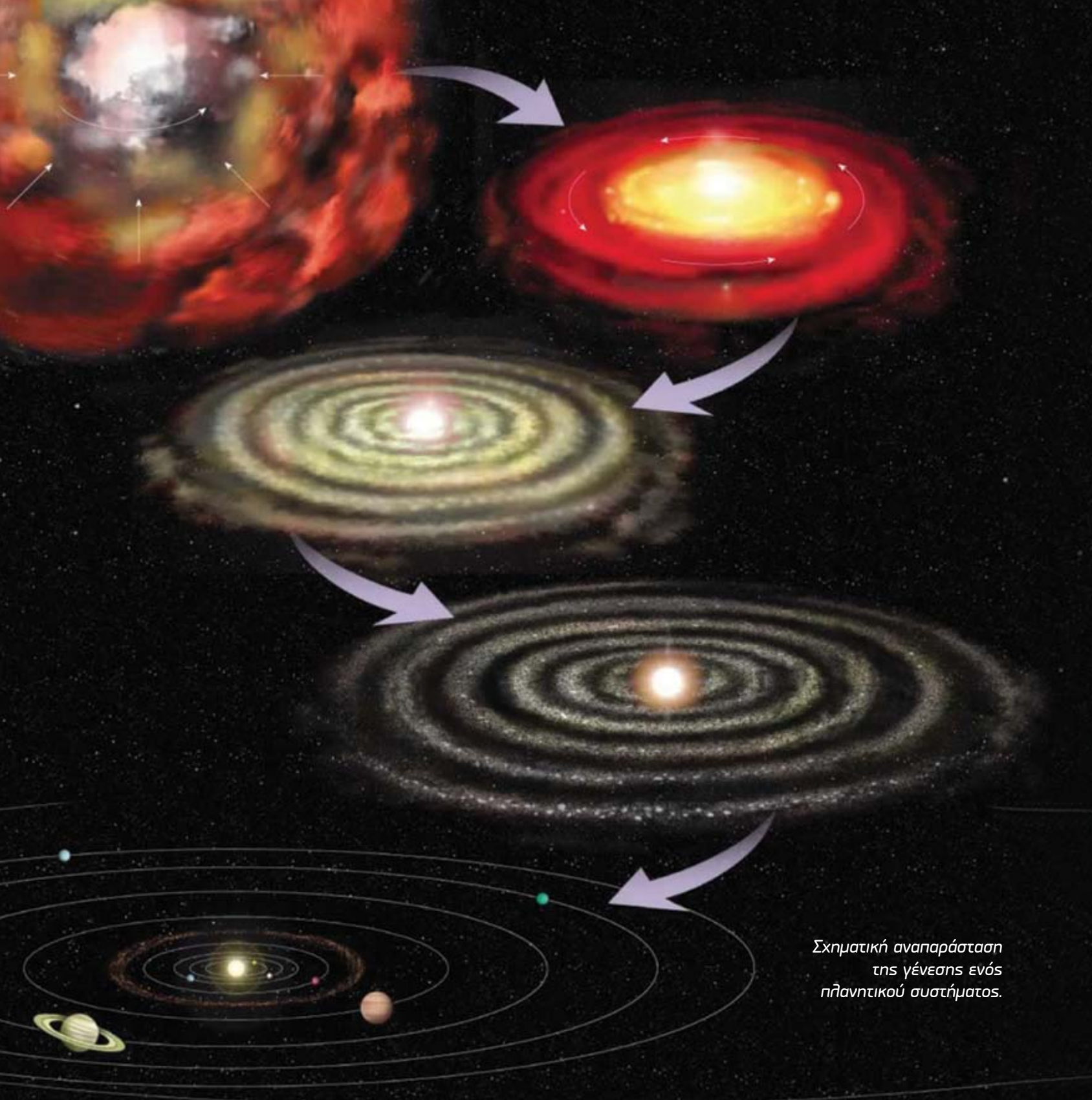
1922) πρότεινε την ύπαρξη τεραστίων ποσοτήτων αερίων στον διαστρικό χώρο, η οποία επιβεβαιώθηκε το 1909 από τις παρατηρήσεις που έκαναν, ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο, οι Αμερικανοί αστρονόμοι **Edwin Frost** (1866-1935) και **Vesto Slipher** (1875-1969). Τέλος, και πάλι ο Barnard, που είχε συνεχίσει τη φωτογράφιση των σκοτεινών περιοχών του ουρανού, δημοσίευσε για πρώτη φορά το 1919 μια συλλογή 182 σκοτεινών νεφελωμάτων, που αποδείκνυαν πλέον ξεκάθαρα την ύπαρξη μεγάλων περιοχών με διαστρική σκόνη. Στις φωτογραφίες αυτές περιέλαβε επίσης και ένα από τα πιο γνωστά σκοτεινά νεφελώματα, το οποίο βρίσκεται στον αστερισμό του Ωρίωνα, και που λόγω του χαρακτηριστικού του σχήματος, ονομάζεται **Νεφέλωμα Κεφαλής Αλόγου**. Η διάμετρος της κεφαλής είναι περίπου 1 έτος φωτός και η απόστασή του από μας φτάνει τα 1.500

έτη φωτός, ενώ το φωτεινό νεφέλωμα μπροστά από το οποίο βρίσκεται η σκοτεινή κεφαλή φωτίζεται από το άστρο ζήτα Ωρίωνος σε απόσταση 1.600 ετών φωτός από μας. Με άλλα λόγια, το νεφέλωμα αυτό είναι ορατό μόνο και μόνο διότι βρίσκεται μπροστά από ένα φωτεινό νεφέλωμα εκπομπής και το περίγραμμά του ξεχωρίζει, αφού κρύβει το φως που βρίσκεται πίσω του.

Η μέση θερμοκρασία των σκοτεινών νεφελωμάτων είναι αρκετά χαμηλή και τυπικά κυμαίνεται από τους  $-263$  έως τους  $-253$  °C, γεγονός που διευκολύνει τον σχηματισμό μοριακού υδρογόνου και, όπως θα δούμε παρακάτω, τον σχηματισμό νέων άστρων. Με μάζα και έκταση που μπορεί να υπερβαίνουν το 1 εκατομμύριο ηλιακών μαζών και τα 300 έτη φωτός αντίστοιχα, τα μεγαλύτερα από τα σκοτεινά νεφελώματα συνθέτουν τα **γιγά-**

Το νεφέλωμα Κεφαλής Αλόγου  
[T.A.Rector (NOAO/AURA/NSF), Hubble Heritage Team (STScI/AURA/NASA)].





Σχηματική αναπαράσταση  
της γένεσης ενός  
πλανητικού συστήματος.

**ντια μοριακά νέφη**, μέσα στα οποία γεννιούνται τ' άστρα. Αυτές οι τεράστιες συγκεντρώσεις αερίων και σκόνης, που αποτελούνται κυρίως από μοριακό υδρογόνο, έχουν μέση πυκνότητα της τάξης των 100-1.000 σωματιδίων/cm<sup>3</sup>, ενώ εμπεριέχουν και «εστίες» πολύ μεγαλύτερης πυκνότητας, της τάξης των 10<sup>4</sup>-10<sup>6</sup> σωματιδίων/cm<sup>3</sup>. Τα νέφη αυτά, τα ψυχρότερα και πυκνότερα της μεσοαστρικής ύλης, αποτελούν «τα μαιευτήρια» των άστρων, ενώ σύμφωνα με τις αστρονομικές μας παρατηρήσεις εντοπίζονται ως επί το πλείστον στους γαλαξιακούς δίσκους των σπειροειδών γαλαξιών, όπως επίσης και στους ανώμαλους γαλαξίες.

Δύο είναι οι κύριες δυνάμεις, οι οποίες ανταγωνίζονται η μία την άλλη στο εσωτερικό των μοριακών νεφών: η **βαρύτητα** και η **πίεση**. Η βαρύτητα οφείλεται στη μάζα των σωματιδίων κάθε μοριακού νέφους και η οποία έχει την τάση να συσσωρεύει τα αέρια μόρια και τη σκόνη σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ύλης, εξαιτίας της αμοιβαίας έλξης που αναπτύσσεται ανάμεσά τους. Η εσωτερική πίεση, αντίθετα, που οφείλεται στη μικρή κινητική ενέργεια αυτών των σωματιδίων, έχει την τάση να απομακρύνει το ένα απ' το άλλο. Επειδή όμως τα μοριακά νέφη είναι κατά κανόνα ψυχρά, οι ταχύτητες των σωματιδίων που εμπεριέχουν είναι πολύ μικρές, γεγονός που σημαίνει ότι υπάρχουν περιοχές στο εσωτερικό τους, όπου η τάση συσώρευσης των σωματιδίων αυτών υπερισχύει της τάσης τους να απομακρυνθούν το ένα από το άλλο. Αυτή η ανομοιομορφία στην κατανομή της μάζας στο εσωτερικό των γιγάντιων μοριακών νεφών τα καθιστά βαρυσταθικά. Γι' αυτό,

η οποιαδήποτε διαταραχή στην ευρύτερη περιοχή τους, όπως η έκρηξη ενός γειτονικού σουπερνόβα, η σύγκρουση δύο διαφορετικών νεφών, ή ακόμη και η διέλευση του νέφους από μία περιοχή με μεγαλύτερη συγκέντρωση ύλης, θα δώσει το έναυσμα για την κατάρρευσή τους. Οι περιοχές του νέφους, όπου η πυκνότητα ύλης και συνακόλουθα η βαρύτητα είναι αρκετά μεγαλύτερες απ' τις γειτονικές τους, έχουν αρχικά χαμηλή θερμοκρασία και εσωτερική πίεση, με αποτέλεσμα η βαρύτητα να υπερισχύει της πίεσης, γεγονός που δίνει το έναυσμα για την βαρυσταθική συστολή τους. Αυτές οι πιο πυκνές περιοχές, οι οποίες συνεχίζουν να έλκουν όλο και περισσότερη ύλη απ' αυτήν που τις περιβάλλει, φαίνονται σαν σκοτεινά σφαιρίδια και υποδεικνύουν τις περιοχές όπου αρχίζουν να σχηματίζονται νέα άστρα.

Καθώς λοιπόν τα σωματίδια αερίων και σκόνης αρχίζουν να «πέφτουν» προς το κέντρο των περιοχών που καταρρέουν, μετατρέποντας τη δυναμική τους ενέργεια σε κινητική, οι συγκρούσεις μεταξύ τους και συνακόλουθα η θερμοκρασία τους αρχίζει να αυξάνει. Αρχικά, οι περιοχές αυτές ακτινοβολούν το πλεόνασμα της θερμικής τους ενέργειας, εξασφαλίζοντας ότι η εσωτερική τους πίεση παραμένει μικρότερη απ' τη βαρύτητα και ως εκ τούτου ότι η κατάρρευσή τους μπορεί να συνεχισθεί απρόσκοπτα. Καθώς, όμως, η πυκνότητά τους αυξάνει συνεχώς, τα υπό κατάρρευση τμήματα του νέφους καθίστανται αδιαφανή στη θερμική ενέργεια, φυλακίζοντάς την στο εσωτερικό τους. Από το σημείο αυτό και μετά, η θερμοκρασία και η πίεση στο εσωτερικό τους

αυξάνεται συνεχώς, σχηματίζοντας σε κάθε μία απ' αυτές και μία περιστρεφόμενη υπέρθερμη σφαίρα αερίων, δηλαδή το «έμβρυο» του άστρου που θα γεννηθεί, το οποίο ονομάζεται **πρωταστέρας**. Αυτή η συνεχής συστολή των διαφορετικών περιοχών του γιγάντιου μοριακού νέφους, οι οποίες καταρρέουν από την ίδια τους τη βαρύτητα, διαρκεί συνήθως από μερικές εκατοντάδες χιλιάδες έως μερικά εκατομμύρια έτη, ανάλογα με τη μάζα των άστρων που θα γεννηθούν σε καθεμιά απ' αυτές.

Καθώς μεσοαστρική ύλη από το γιγάντιο μοριακό νέφος εξακολουθεί να «πέφτει» σε καθέναν από τους πρωταστέρες, οι συγκρούσεις μεταξύ των ατόμων στο εσωτερικό τους γίνονται όλο και πιο ενεργητικές, ενώ η θερμοκρασία και η εσωτερική τους πίεση συνεχίζει να αυξάνει. Και τότε, όταν η θερμοκρασία στο εσωτερικό ενός πρωταστέρα φτάσει τους περίπου 15.000.000 °C, συμβαίνει το «θαύμα»: οι πυρήνες υδρογόνου, που σε χαμηλότερες θερμοκρασίες απωθούν ο ένας τον άλλον, εξαιτίας του ομώνυμου φορτίου τους, αρχίζουν να «συγχωνεύονται» μεταξύ τους μέσω θερμοπυρηνικών αντιδρά-

σεων σύντηξης, δημιουργώντας ήλιο. Η βαρυτική πίεση προς το κέντρο αντισταθμίζεται από την προς τα έξω πίεση των συνεχιζόμενων θερμοπυρηνικών αντιδράσεων, η συστολή σταματάει, και έτσι ένα νέο άστρο γεννιέται στον Γαλαξία μας.

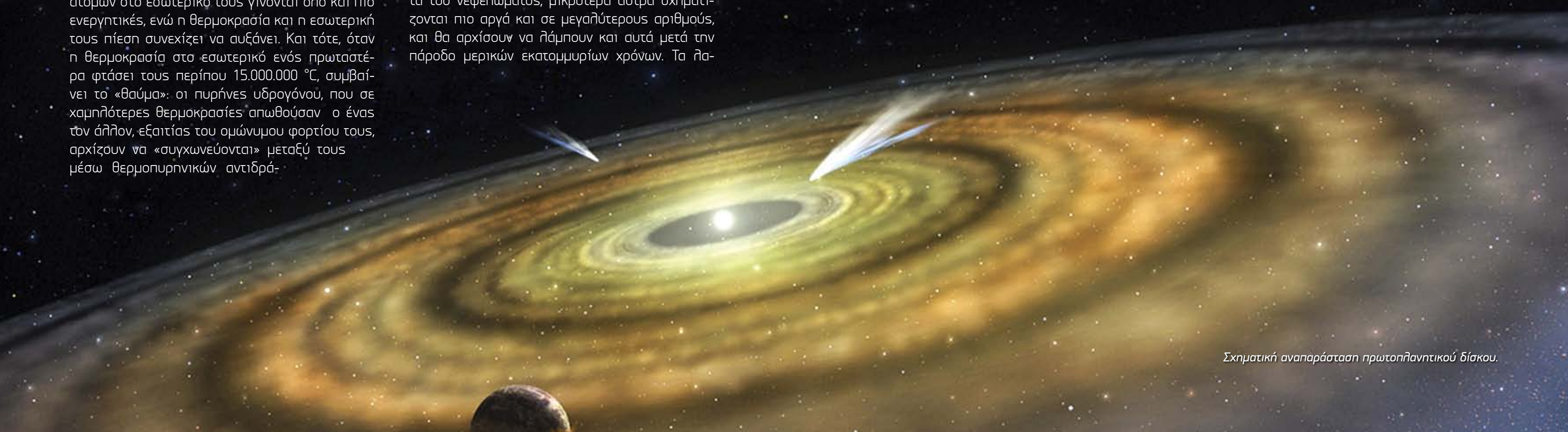
Παράλληλα, τα αέρια και η σκόνη που προσελκύονται από τις παρυφές της περιοχής που καταρρέει, συνεχίζουν να στροβιλίζονται γύρω από το νεογέννητο άστρο, σχηματίζοντας μία τεράστια δίνη υλικών, που ονομάζεται **πρωτοπλανητικός δίσκος**, και τα οποία θα αποτελέσουν τη «μαγιά» για τον μελλοντικό σχηματισμό πλανητών. Τα πρώτα άστρα που σχηματίζονται είναι τα μεγαλύτερα και τα λαμπρότερα, ενώ σε άλλα τμήματα του νεφελώματος, μικρότερα άστρα σχηματίζονται πιο αργά και σε μεγαλύτερους αριθμούς, και θα αρχίσουν να λάμπουν και αυτά μετά την πάροδο μερικών εκατομμυρίων χρόνων. Τα λα-

μπρότερα άστρα ακτινοβολούν ενέργεια με τόσο δύναμη, ώστε η πίεση της ακτινοβολίας τους και των ισχυρών αστρικών ανέμων που εκτινάσσονται απ' την επιφάνειά τους παρασύρει τα υπολειπόμενα αέρια, ιονίζοντάς τα και μετατρέποντας έτσι την ευρύτερη περιοχή που τα περιβάλλει σε νεφελώματα εκπομπής. Με το πέρασμα όμως του χρόνου, η πίεση της ακτινοβολίας των νεογέννητων άστρων διασκορπίζει το νεφέλωμα μέσα στο οποίο γεννήθηκαν, έτσι ώστε στο τέλος μένουν τα άστρα μόνα τους.

Όλα τα άστρα γεννιούνται στο εσωτερικό παρόμοιων νεφελωμάτων αερίων και σκόνης και η ποσότητα των υλικών που περιέχει κάθε άστρο

τη στιγμή της γέννησής του καθορίζει επακριβώς τον χρωματισμό του, δηλαδή τη θερμοκρασία του. Η μάζα όμως του κάθε άστρου δεν καθορίζει μόνο την εμφάνιση που έχει ένα άστρο όταν γεννηθεί, εάν δηλαδή θα είναι ένα μικρό και κοκκινωπό άστρο ή ένας γαλάζιος γίγαντας. Η μάζα ενός άστρου καθορίζει επιπλέον τι είδους άστρο θα γίνει, πόσα χρόνια θα ζήσει, πώς θα είναι στη γεροντική του ηλικία, και τέλος πώς θα πεθάνει. Τα πάντα εξαρτώνται από την ποσότητα της μάζας που έχει κάθε άστρο όταν γεννιέται, η οποία καθορίζει επακριβώς τη μοίρα του, τη ζωή του και τον θάνατό του.

*Σχηματική αναπαράσταση πρωτοπλανητικού δίσκου.*





## 5. Η λάμψη των άστρων

Για τους αρχαίους λαούς, τα άστρα δεν ήταν παρά απόμακρες μικροσκοπικές λάμπες φωτός, ή ακόμη και μικρές τρύπες στο πέπλο της νύχτας. Σήμερα όμως, με θαυμασμό και ταπεινότητα, αρχίζουμε να αντιλαμβανόμαστε για πρώτη φορά την πραγματικά απίστευτη εικόνα του αστρικού Σύμπαντος που μας έχουν αποκαλύψει τις τελευταίες μόλις δεκαετίες οι σύγχρονοι αστρονόμοι και αστροφυσικοί. Γιατί σήμερα γνωρίζουμε την πραγματική σύνθεση, φύση, και δομή των άστρων, εν πολλοίς χάρη και στο γεγονός ότι η σύγχρονη επιστήμη μπόρεσε να εισχωρήσει βαθιά στους μυστικούς «διαδρόμους» του πλησιέστερου σε μας άστρου, του Ήλιου. Κι εκεί ανακαλύψαμε τον τρόπο με τον οποίο λάμπει ο Ήλιος και κατ' επέκταση κι όλα τα άλλα άστρα. Επειδή ο Ήλιος είναι πολύ κοντά μας (η μέση απόσταση Γης-Ήλιου είναι 150 εκατομμύρια km και ονομάζεται **Αστρονομική Μονάδα, AM**) και μπορούμε να τον μελετήσουμε με μεγάλη λεπτομέρεια, παίζει σπουδαίο ρόλο στην προσπάθειά μας να αντιληφθούμε και να κατανοήσουμε τη σύνθεση και φύση όλων των άλλων άστρων. Λόγω όμως της μικρής του απόστασης από τη Γη, ο Ήλιος φαίνεται ότι είναι 100 δισεκατομμύρια φορές λαμπρότερος από οποιοδήποτε άλλο άστρο, με αποτέλεσμα η φωτεινότητά του να διαχέεται στην ατμόσφαιρά μας και να καλύπτει, κατά τη διάρκεια της ημέρας, το φως όλων των άλλων άστρων. Κι όμως όλα τα άστρα, όπως άλλωστε και ο Ήλιος μας, δεν είναι τίποτε άλλο παρά τεράστιες σφαίρες από διάφορα αέρια με κύρια συστατικά το υδρογόνο και το ήλιο.

Η θερμοκρασία που επικρατεί στον Ήλιο είναι τόσο υψηλή, ώστε εξαερώνει ακόμη και τα μέταλλα. Επιπλέον, ο Ήλιος παράγει και ακτινοβολεί τεράστιες ποσότητες ενέργειας. Η ποσότητα της ενέργειας που παράγεται είναι πραγματικά απίστευτη, αφού κάθε δευτερόλεπτο ο Ήλιος εκπέμπει τόση ενέργεια όσο θα μας έδινε η έκρηξη 100 δισεκατομμυρίων βομβών υδρογόνου του ενός μεγατόνου η κάθε μία. Και αυτά συμβαίνουν σε 1 δευτερόλεπτο, ενώ ο Ήλιος εκπέμπει την τεράστια αυτή ποσότητα ενέργειας εδώ και 5 δισεκατομμύρια χρόνια συνεχώς, και θα συνεχίσει ακάθεκτος για τουλάχιστον άλλα τόσα. Ίσως να αναρωτιέστε όμως: με τι τρόπο άραγε ο Ήλιος, αλλά και όλα τα άστρα των γαλαξιών του Σύμπαντος, μπορούν να ακτινοβολούν τόση ενέργεια; Την απάντηση τη μάθαμε σχετικά πρόσφατα.

Από το 1897, όταν ανακαλύφθηκε το ηλεκτρόνιο, μέχρι το 1932, που επιβεβαιώθηκε η ύπαρξη του νετρονίου, ανακαλύψαμε ότι τα άτομα αποτελούνται από **πρωτόνια**, σωματίδια δηλαδή με θετικό ηλεκτρικό φορτίο, από **νετρόνια**, χωρίς κανένα φορτίο, και από τα μικροσκοπικά **ηλεκτρόνια**, με αρνητικό φορτίο. Τα πρωτόνια και τα νετρόνια αποτελούν τον πυρήνα στο κέντρο του ατόμου, ενώ τα ηλεκτρόνια κινούνται γύρω από τον πυρήνα. Όλα τα χημικά στοιχεία αποτελούνται από άτομα με διαφορετικές ποσότητες πρωτονίων, νετρονίων και ηλεκτρονίων. Το υδρογόνο, που είναι το πιο απλό από όλα τα χημικά στοιχεία, στην απλούστερή του μορφή αποτελείται μόνο από ένα πρωτόνιο και ένα ηλεκτρόνιο, ενώ το δεύτερο απλούστερο στοιχείο, το ήλιο αποτελείται από δύο ηλεκτρόνια, δύο πρωτόνια, και δύο

νετρόνια. Και τα δύο αυτά στοιχεία είναι σταθερά, και μπορούν να υφίστανται για πάντα κάτω από κανονικές συνθήκες. Οι συνθήκες όμως στο κέντρο του Ήλιου, και κάθε άλλου άστρου στο Σύμπαν, είναι κάθε άλλο παρά κανονικές.

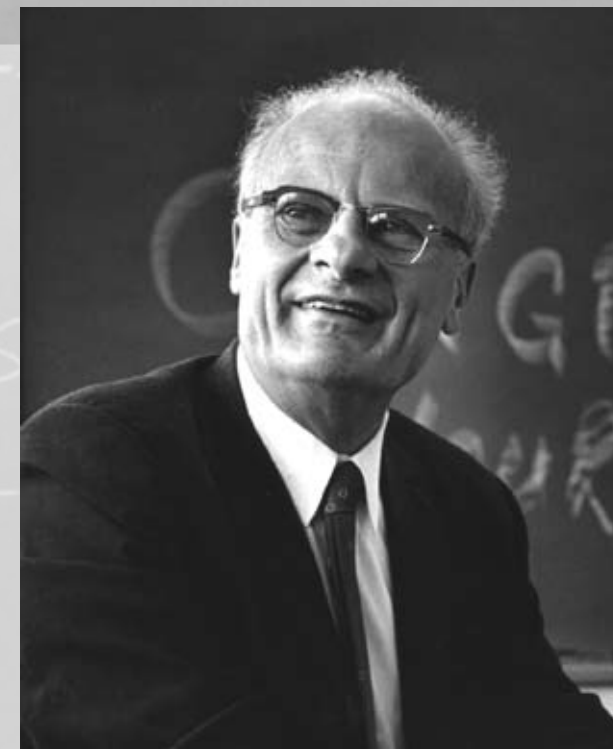
Η θερμοκρασία στην κεντρική περιοχή των άστρων φτάνει ή και υπερβαίνει τους 15.000.000 °C και, όπως θα δούμε, σ' αυτές τις θερμοκρασίες η ύλη μπορεί να υπάρξει μόνο με τη μορφή πλάσματος, καθώς τα ηλεκτρόνια των ατόμων αποδεσμεύονται από τους πυρήνες τους. Οι υπερθερμασμένοι πυρήνες κινούνται με μεγάλες ταχύτητες και συγκρούονται μεταξύ τους με τόση βιαιότητα, ώστε δύο πυρήνες υδρογόνου κολλάνε μεταξύ τους, συγχωνεύονται δηλαδή, κατά τη σύγκρουση. Δύο ακόμη βίαιες συγκρούσεις προσθέτουν δύο ακόμη πυρήνες υδρογόνου στο σύνολο, φτιάχνοντας έτσι ένα σταθερό άτομο ηλίου. Το παράξενο όμως σ' όλη αυτή τη διαδικασία είναι ότι οι τέσσερις μεμονωμένοι πυρήνες υδρογόνου ζυγίζουν περισσότερο από τον έναν πυρήνα ηλίου, ο οποίος δημιουργήθηκε με τη συγχώνευση. Τι έγινε λοιπόν η μάζα που λείπει; Μετατράπηκε απλούστατα σε ενέργεια, έτσι ακριβώς όπως πρόβλεψε ο **Άλμπερτ Αϊνστάιν** (1879-1955) στην περίφημη πλέον εξίσωσή του  $E=mc^2$ , δηλαδή η ενέργεια που εκπέμπεται είναι ίση με το γινόμενο της μάζας που λείπει επί το τετράγωνο της ταχύτητας του φωτός. Με άλλα λόγια, μια ελάχιστη ποσότητα μάζας μάς δίνει τεράστιες ποσότητες ενέργειας. Ο Ήλιος είναι λοιπόν ένας τεράστιος πυρηνικός αντιδραστήρας που μετατρέπει το υδρογόνο του σε ήλιο. Παρόλο όμως που χάνει συνεχώς τόσα πολλά υλικά, τόσο μεγάλος, ώστε δισεκατομμύρια



Ο Άγγλος αστρονόμος Arthur Eddington.

χρόνια από σήμερα δεν θα έχει χάσει παρά λιγότερο από το ένα εκατοστό της μάζας του. Όλα τα άστρα στον ουρανό άλλωστε ακτινοβολούν ενέργεια με τον ίδιο τρόπο. Μερικά είναι μεγαλύτερα και άλλα μικρότερα, μερικά είναι θερμότερα, ενώ άλλα είναι λιγότερο θερμά, αλλά σε τελική ανάλυση όλα τα άστρα λάμπουν με τον ίδιο τρόπο.

Το γενικό θεωρητικό υπόβαθρο της εσωτερικής δομής των άστρων το οφείλουμε στον πραγματικά μεγάλο Άγγλο φυσικό και αστρονόμο **Arthur Eddington** (1882-1944), ο οποίος υποστήριξε ότι η διαδικασία μέσω της οποίας τα άστρα παράγουν ενέργεια βασίζεται στη σύντηξη πυρήνων



Ο Γερμανοαμερικανός φυσικός Hans Bethe.

υδρογόνου, δηλαδή πρωτονίων. Παρόλο, όμως που η βασική ιδέα της πυρηνικής σύντηξης του υδρογόνου ήταν σωστή, υπήρχε ένα πρόβλημα, γιατί το πιο προφανές παράγωγο της ένωσης δύο πρωτονίων είναι ένα ισότοπο του ηλίου, που περιλαμβάνει στον πυρήνα του 2 πρωτόνια, αλλά κανένα νετρόνιο, το οποίο όμως είναι εξαιρετικά ασταθές και, αμέσως μόλις σχηματισθεί, διασπάται εκ νέου σε δύο πρωτόνια. Τη λύση σε αυτό το πρόβλημα, μέσα από την οποία μας αποκαλύφθηκε εντέλει ο τρόπος με τον οποίο παράγεται η τεράστια ποσότητα ενέργειας στα άστρα των γαλαξιών του Σύμπαντος, την οφείλουμε στον Γερμανοαμερικανό φυσικό **Hans A. Bethe** (1906-

2005), ο οποίος πρότεινε το 1939 ότι το ένα από τα δύο αυτά πρωτόνια θα μπορούσε να υποστεί **ραδιενεργό διάσπαση β**, όπως ονομάζεται, και να μετατραπεί, μέσω της ασθενούς αλληλεπίδρασης, σε νετρόνιο. Η **ασθενής αλληλεπίδραση** είναι μία από τις 4 θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις που υπάρχουν στη φύση και, όπως η **ισχυρή πυρηνική** εξάλληλου, έχει περιορισμένη εμβέλεια, αφού γίνεται αισθητή μόνο σε υποατομικές κλίμακες. Οι άλλες δύο είναι οι γνωστές σε όλους **βαρυτικές** και **ηλεκτρομαγνητικές** αλληλεπιδράσεις, οι οποίες έχουν άπειρη εμβέλεια. Μ' αυτόν τον τρόπο, το πρώτο παράγωγο της αλυσίδας των αντιδράσεων, χάρη στις οποίες παράγεται η ενέργεια των άστρων, είναι το ισότοπο του υδρογόνου **δευτέριο**, το οποίο σε αντίθεση με το ήλιο-2 είναι σταθερό. Η ανακάλυψη αυτή χάρισε στον Bethe το Βραβείο Νόμπελ Φυσικής (1967), και στην ανθρωπότητα την εξήγηση μίας από τις βασικότερες διεργασίες που συμβαίνουν στο Σύμπαν.

Αναλυτικότερα, δύο είναι τα κύρια είδη των θερμοπυρηνικών αντιδράσεων που επικρατούν στην καρδιά των άστρων. Η μία ονομάζεται **αλυσίδα πρωτονίου – πρωτονίου** και παρατηρείται κυρίως σε άστρα με μάζες παραπλήσιες ή μικρότερες απ' αυτήν του Ήλιου, ενώ η δεύτερη ονομάζεται **κύκλος CNO** (δηλαδή κύκλος άνθρακα-αζώτου-οξυγόνου), μέσω του οποίου διεξάγονται οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις σύντηξης στο εσωτε-

ρικό των άστρων με μάζα μεγαλύτερη απ' αυτήν του Ήλιου. Και στα δύο αυτά είδη των αντιδράσεων τέσσερεις πυρήνες υδρογόνου (H-1) συγχωνεύονται σ' έναν πυρήνα ηλίου (He-4), εκπέμποντας συγχρόνως συνολική ενέργεια 26,2 MeV (26,2 εκατομμύρια ηλεκτρονιοβόλτ\*). Στη διάρκεια της διαδικασίας αυτής, κατά τη συγχώνευση 1.000 γραμμαρίων υδρογόνου σχηματίζονται 993 γραμμάρια ηλίου, ενώ «χάνονται» 7 συνολικά γραμμάρια ύλης. Στην πραγματικότητα, φυσικά, η μικρή αυτή ποσότητα ύλης δεν «χάθηκε», αλλά μετατράπηκε σε ενέργεια.

Η ενέργεια, λοιπόν, που απελευθερώνεται από τον Ήλιο είναι τεράστια, αφού κάθε δευτερόλεπτο περίπου 655 εκατομμύρια τόνοι υδρογόνου μετατρέπονται σε 650 εκατομμύρια τόνους ηλίου. Κάθε δευτερόλεπτο δηλαδή ο Ήλιος μετατρέπει σχεδόν 5 εκατομμύρια τόνους της ύλης του σε ενέργεια. Ας δούμε όμως πιο αναλυτικά τι γίνεται στο εσωτερικό των άστρων με μάζα παραπλήσια ή μικρότερη απ' αυτήν του Ήλιου. Η θερμοκρασία που επικρατεί εδώ φτάνει τους 15.000.000 °C. Σ' αυτή τη θερμοκρασία τα άτομα έχουν χάσει τα ηλεκτρόνιά τους, είναι δηλαδή τελείως ιονισμένα, και η κατάσταση της ύλης που βρίσκουμε εδώ δεν είναι ούτε στερεά, ούτε υγρή, ούτε αέρια, αλλά μία τέταρτη κατάσταση, ηλεκτρικά ουδέτερη, που ονομάζεται **πλάσμα**. Η ύλη δηλαδή που υπάρχει στην καρδιά των άστρων είναι ένα μείγμα ελεύθερων πυρήνων και ελεύθερων

ηλεκτρονίων. Επειδή, όμως, το υδρογόνο είναι το κύριο συστατικό των άστρων, το αστρικό πλάσμα αποτελείται κυρίως από ελεύθερα πρωτόνια (δηλαδή πυρήνες υδρογόνου), τα οποία θα πρέπει να συνδεθούν μεταξύ τους για να δημιουργήσουν το στοιχείο ήλιο. Όλα όμως τα πρωτόνια έχουν θετικό ηλεκτρικό φορτίο και έτσι απωθούνται μεταξύ τους λόγω της **ηλεκτροστατικής άπωσης**, που αναπτύσσεται μεταξύ ομώνυμων φορτίων.

Για να μπορέσουν δύο πρωτόνια να ενωθούν, χρειάζεται να κινούνται πάρα πολύ γρήγορα, για να έχουν έτσι μεγαλύτερη κινητική ενέργεια από την ενέργεια που τα κάνει να απωθούνται. Για να συμβεί όμως αυτό, τα δύο πρωτόνια χρειάζεται να πλησιάσουν μεταξύ τους σε απόσταση ενός εκατοστού του ενός τρισεκατομμυριοστού του χιλιοστού ( $10^{-14}$  mm ή 0,00000000000001 του χιλιοστού). Γιατί μόνο τότε θα καταφέρουν να υπερβούν την ηλεκτροστατική άπωση και θα πλησιάσουν τόσο κοντά μεταξύ τους, ώστε άλλου είδους δυνάμεις (συγκεκριμένα η ισχυρή πυρηνική αλληλεπίδραση) θα αναλάβουν να ενώσουν τα δύο πρωτόνια. Παρόλο όμως που η τεράστια θερμοκρασία που επικρατεί στο εσωτερικό του Ήλιου και των άστρων υποχρεώνει τα ιονισμένα άτομα του υδρογόνου να κινούνται με τεράστιες ταχύτητες, εφοδιάζοντάς τα έτσι με κινητική ενέργεια της τάξης του 1KeV, η ενέργεια αυτή είναι χίλιες φορές μικρότερη απ' αυτήν που απαιτείται για την υπέρβαση της ηλεκτροστατικής άπωσης ανάμεσα σε δύο ατομικούς πυρήνες υδρογόνου. Αυτή η απαιτούμενη ενέργεια είναι της τάξης του 1 MeV. Κάτω απ' αυτές λοιπόν τις συνθήκες φαίνεται

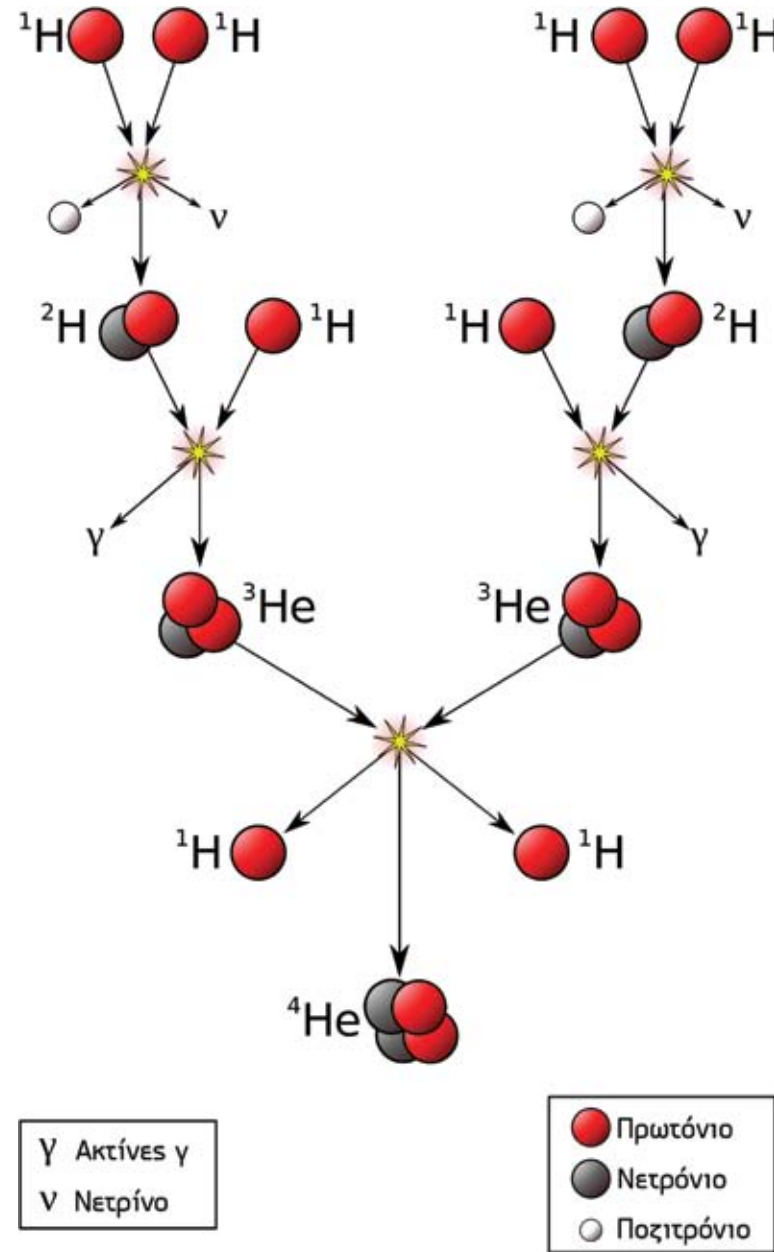
ότι καμία πυρηνική αντίδραση δεν θα μπορούσε να είναι δυνατή στο εσωτερικό των άστρων. Εδώ όμως είναι που παρεμβαίνει η κβαντομηχανική και σώζει την κατάσταση! Οι νόμοι της κβαντομηχανικής μάς λένε ότι, παρόλο τη μεγάλη αυτή διαφορά της **απαιτούμενης** από τη **πραγματική** κινητική ενέργεια των πρωτονίων, η πιθανότητα σύγκρουσης και συνένωσης δύο πρωτονίων δεν είναι μηδενική, αλλά αρκετά μεγάλη ώστε ορισμένα τουλάχιστον πρωτόνια να μπορέσουν να υπερνικήσουν την ηλεκτροστατική άπωση, να συγκρουστούν με κάποιο άλλο πρωτόνιο, για ν' αρχίσουν έτσι και να συνεχιστούν οι απαιτούμενες πυρηνικές αντιδράσεις. Φυσικά, ένα μόνο πρωτόνιο στα 100 εκατομμύρια έχει αρκετή ενέργεια για τη συντήρηση των θερμοπυρηνικών αντιδράσεων, αλλά ο αριθμός των ατόμων του Ήλιου είναι τόσο μεγάλος, ώστε κάθε δευτερόλεπτο 280 τρισεκατομμύρια, τρισεκατομμυρίων, τρισεκατομμυρίων ( $2,8 \times 10^{38}$  ή ο αριθμός 28 ακολουθούμενος από 37 μηδενικά) πυρήνες υδρογόνου συντήκονται και μετατρέπονται σε ήλιο.

Το πρώτο, λοιπόν, βήμα της αλυσίδας πρωτονίου-πρωτονίου δεν είναι άλλο από τη σύγκρουση δύο πυρήνων υδρογόνου (πρωτονίων) και τη μετατροπή τους σ' ένα βαρύτερο ισότοπο του υδρογόνου, το δευτέριο, ακριβώς δηλαδή όπως πρότεινε ο Bethe. Ειδικότερα, στη διάρκεια της σύγκρουσης αυτής, το ένα από τα δύο πρωτόνια μετατρέπεται μέσω της ασθενούς αλληλεπίδρασης σε νετρόνιο, αποβάλλοντας το θετικό του φορτίο με τη μορφή ενός ποζιτρονίου (τα ποζιτρόνια είναι σωματίδια αντιύλης, που μοιάζουν με τα ηλεκτρόνια, αλλά

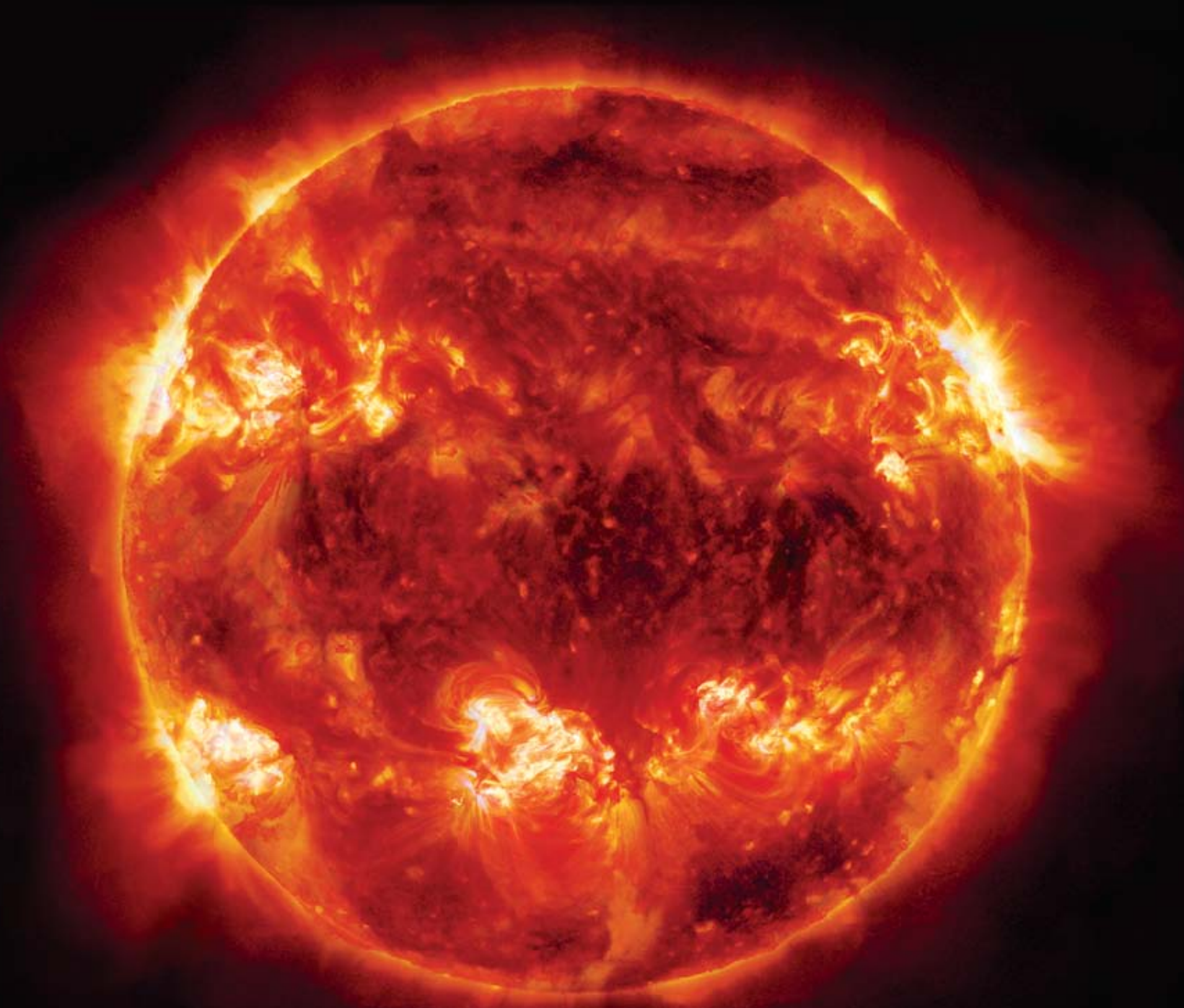
\* Το ηλεκτρονιοβόλτ (eV) είναι μια μονάδα μέτρησης της μάζας και της ενέργειας, η οποία χρησιμοποιείται στο ατομικό και υποατομικό επίπεδο. Συνήθως χρησιμοποιούνται τα πολλαπλάσια του eV, όπως το κιλοηλεκτρονιοβόλτ (keV) που ισούται με 1.000 eV και το μεγαηλεκτρονιοβόλτ (MeV), που ισούται με 1 εκατομμύριο eV.

αντί για αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο τα ποζιτρόνια έχουν θετικό φορτίο). Μόλις όμως το ποζιτρόνιο αποχωρήσει, και σε διάστημα μικρότερο από το ένα εκατομμυριοστό του δευτερολέπτου, έλκεται από ένα αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόνιο, και τα δύο αυτά σωματίδια ύλης και αντιύλης εξαυλώνονται, απελευθερώνοντας «καθαρή» ενέργεια με τη μορφή 2 φωτονίων  $\gamma$  (ακτινοβολία υψηλής ενέργειας). Ταυτόχρονα όμως με τη γένεση του ποζιτρονίου γεννιέται και ένα νεutrίνο, δηλαδή ένα ηλεκτρικά ουδέτερο και με απειροελάχιστη μάζα θεμελιώδες σωματίδιο της ύλης, το οποίο σπανίως αλληλεπιδρά με τη συνηθισμένη ύλη που μας περιβάλλει. Γι' αυτό και κάθε νεutrίνο που παράγεται μ' αυτόν τον τρόπο διαφεύγει στο Διάστημα με ταχύτητα που φτάνει σχεδόν την ταχύτητα του φωτός, χωρίς να το εμποδίσει τίποτα, φτάνοντας στην ηλιακή επιφάνεια σε 2,5 περίπου δευτερόλεπτα.

Έτσι, στο πρώτο στάδιο της αλυσίδας πρωτονίου-πρωτονίου, η σύγκρουση των δύο πυρήνων υδρογόνου οδηγεί στην ένωση ενός πρωτονίου με ένα νεutrόνιο και στον σχηματισμό ενός πυρήνα δευτερίου. Στην πρώτη λοιπόν αυτή πυρηνική αντίδραση έχουμε συνοπτικά την εξής κατάσταση: ένωση δύο πυρήνων υδρογόνου που μας δίνουν ένα δευτέριο, ένα ποζιτρόνιο, ένα νεutrίνο και μία πολύ μικρή ποσότητα ενέργειας (1,44 MeV). Αστροφυσικά σχεδόν μετά τη δημιουργία του το δευτέριο συνενώνεται με έναν ακόμη πυρήνα υδρογόνου σχηματίζοντας ήλιο-3, ένα ισότοπο του ηλίου, στον πυρήνα του οποίου περιλαμβάνονται δύο πρωτόνια και ένα νεutrόνιο, ενώ συγχρόνως εκπέμπεται και ένα φωτόνιο ακτινοβολίας  $\gamma$ .

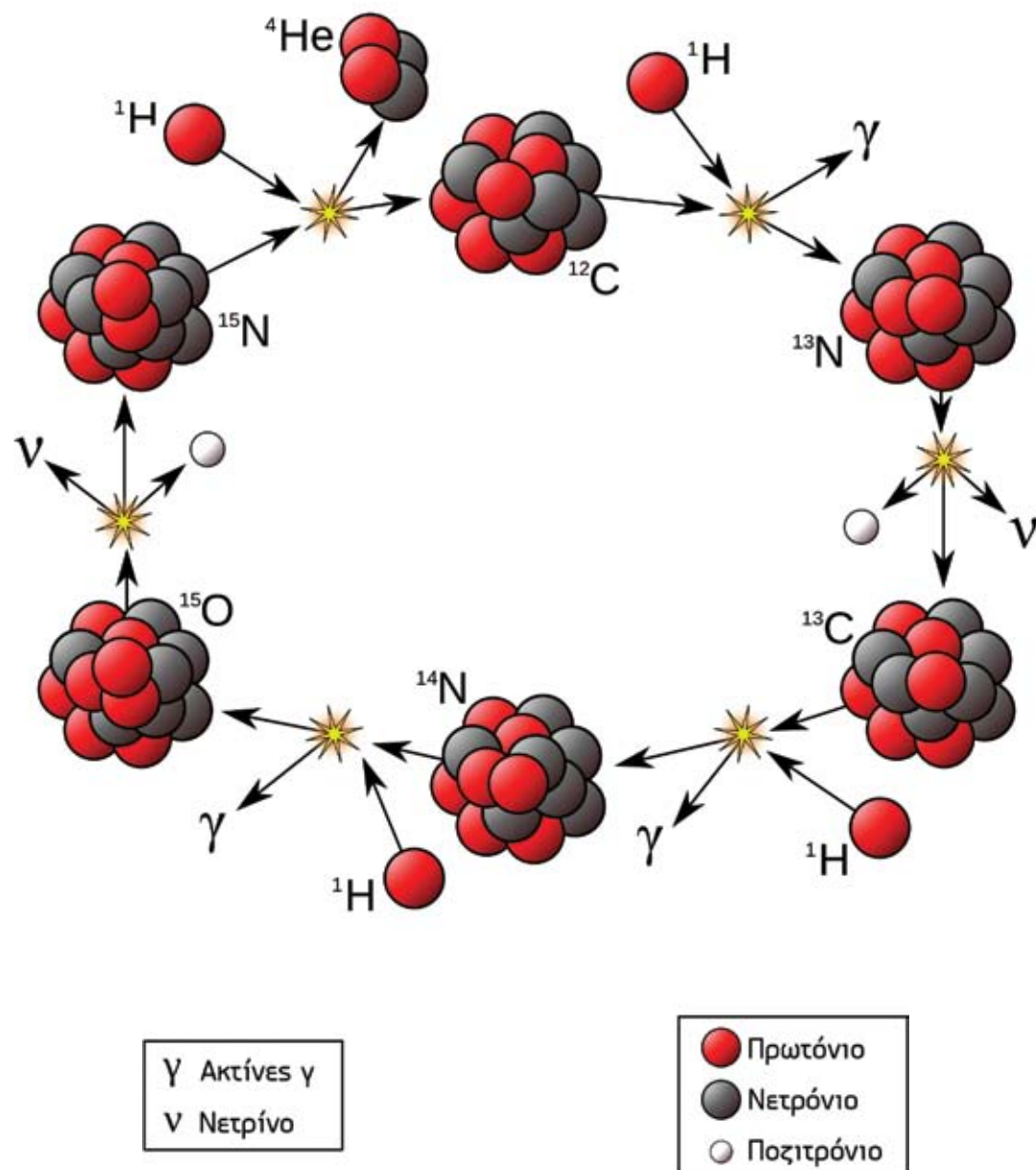


Σχηματική αναπαράσταση της αλυσίδας πρωτονίου-πρωτονίου.



Η ενέργεια που παράγει ο Ήλιος οφείλεται στην αλυσίδα πρωτονίου-πρωτονίου (TRACE Project, Stanford-Lockheed Institute for Space Research/NASA/Michael Benson, Kinetikon Pictures).





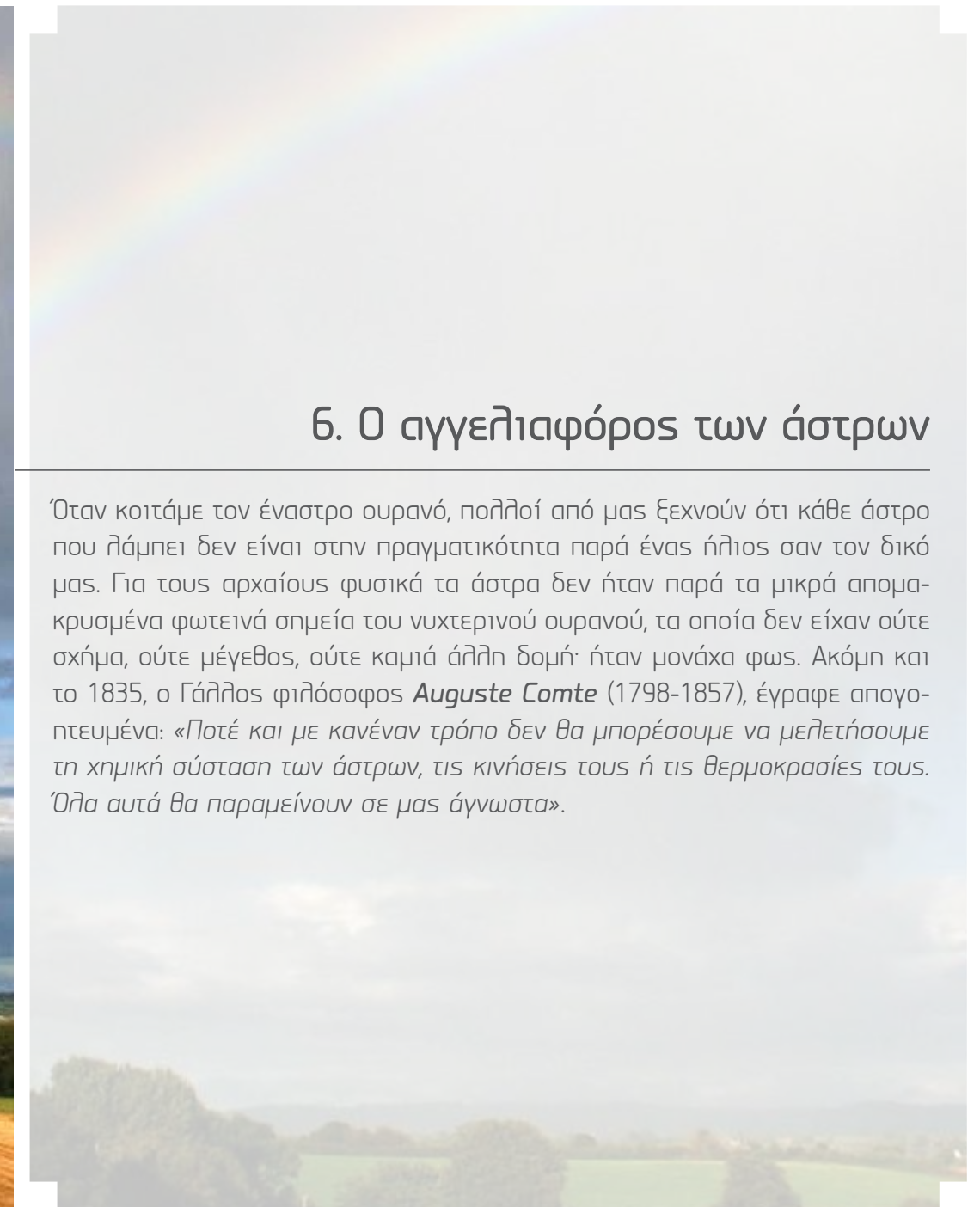
Σχηματική αναπαράσταση του κύκλου CNO.

Στην τελευταία αντίδραση της αλυσίδας πρωτονίου-πρωτονίου δύο ισότοπα ηλίου-3 συγχωνεύονται μεταξύ τους παράγοντας έναν πυρήνα ηλίου-4, δύο πυρήνες υδρογόνου και ενέργεια. Η τελευταία αυτή αντίδραση απαιτεί να προηγηθούν δύο φορές οι δύο προηγούμενες αντιδράσεις, γιατί για να πραγματοποιηθεί η τρίτη αυτή αντίδραση χρειαζόμαστε την ύπαρξη δύο πυρήνων ηλίου-3. Έτσι, στις πέντε αυτές αντιδράσεις συμμετέχουν συνολικά 6 πρωτόνια (πυρήνες υδρογόνου), τα οποία μάς δίνουν τελικά έναν πυρήνα ηλίου, δύο πυρήνες υδρογόνου, δύο ποζιτρόνια, δύο νευτρίνα, ακτινοβολία  $\gamma$  και συνολική ενέργεια 26,72 MeV. Επειδή όμως τα δύο νευτρίνα που διαφεύγουν μεταφέρουν μαζί τους και ένα μικρό ποσοστό αυτής της ενέργειας, η καθαρή ενέργεια που αποδεσμεύεται κατά τη διάρκεια της δημιουργίας ενός ηλίου-4 είναι λίγο μικρότερη. Η όλη αυτή διαδικασία είναι ο βασικός τρόπος μεταστοιχείωσης του υδρογόνου σε ήλιο και της παραγωγής της αστρικής ενέργειας.

Ο κύκλος CNO, από την άλλη, είναι η αλληλοσυντήρηση των πυρηνικών αντιδράσεων σύντηξης, που κατά κύριο λόγο παρατηρείται στα άστρα μεγάλης μάζας και, χωρίς να επεκταθούμε σε περισσότερες λεπτομέρειες, περιλαμβάνει 6 πυρήνες υδρογόνου, το ισότοπο του άνθρακα C-12, το ραδιενεργό ισότοπο του αζώτου N-13, το ισότοπο του άνθρακα C-13, το ισότοπο του αζώτου N-14, το ραδιενεργό ισότοπο του οξυγόνου O-15, και το ισότοπο του αζώτου N-15. Και σ' αυτή όμως την σειρά των αντιδράσεων έχουμε τη σύντηξη 4 πυρήνων υδρογόνου (πρωτονίων) και την παρα-

γωγή ενός πυρήνα ηλίου, δύο ποζιτρονίων, δύο νευτρίνων και την απελευθέρωση ενέργειας, όπου ο άνθρακας, το άζωτο και το οξυγόνο λειτουργούν απλώς σαν καταλύτες (διευκολυντές) του κύκλου αυτού των αντιδράσεων. Φυσικά, ανάλογα με την αρχική μάζα του κάθε άστρου, από τη στιγμή που το υδρογόνο στους αστρικούς πυρήνες θα έχει πλήρως μετατραπεί σε ήλιο, είτε μέσω της αλυσίδας πρωτονίου-πρωτονίου είτε μέσω του κύκλου CNO, οι πυρηνικές αντιδράσεις που αναλαμβάνουν να μεταστοιχειώσουν το ήλιο σε άνθρακα κ.ο.κ. μπορούν να συνεχισθούν. Η αναλυτική, όμως, παρουσίαση του ειδικότερου τρόπου με τον οποίο διεξάγονται αυτές οι πυρηνικές αντιδράσεις υπερβαίνει τους ειδικότερους στόχους αυτού του Οδηγού Παράστασης.

θα μπορούσε άραγε να κρύβεται στην καρδιά των άστρων η λύση στο μελλοντικό πρόβλημα των συνεχώς αυξανόμενων ενεργειακών απαιτήσεων της ανθρωπότητας; Πολλοί επιστήμονες πιστεύουν πως ναι, και ήδη διεξάγονται μεγάλης κλίμακας και πανάκριβα ερευνητικά προγράμματα σε Ευρώπη και Αμερική που ως στόχο έχουν να διαπιστώσουν εάν και κατά πόσον είναι εφικτό να χαλιναγωγηθεί σε συνθήκες ελεγχόμενου πειράματος η ενέργεια των άστρων. Δυστυχώς, το τεράστιο, ιδιαίτερα για την εποχή που διανύουμε, κόστος υλοποίησης αυτών των προγραμμάτων και οι εξίσου μεγάλες τεχνολογικές προκλήσεις που αντιμετωπίζουν, δυσχεραίνουν σημαντικά τις προσπάθειες των ερευνητών και έτσι η μεγάλη κλίμακας παραγωγή ενέργειας μέσα από την πυρηνική σύντηξη αναβάλλεται για το μέλλον.



## 6. Ο αγγελιαφόρος των άστρων

Όταν κοιτάμε τον έναστρο ουρανό, πολλοί από μας ξεχνούν ότι κάθε άστρο που λάμπει δεν είναι στην πραγματικότητα παρά ένας ήλιος σαν τον δικό μας. Για τους αρχαίους φυσικά τα άστρα δεν ήταν παρά τα μικρά απομακρυσμένα φωτεινά σημεία του νυχτερινού ουρανού, τα οποία δεν είχαν ούτε σχήμα, ούτε μέγεθος, ούτε καμιά άλλη δομή: ήταν μονάχα φως. Ακόμη και το 1835, ο Γάλλος φιλόσοφος **Auguste Comte** (1798-1857), έγραφε απογοητευμένα: «Ποτέ και με κανέναν τρόπο δεν θα μπορέσουμε να μελετήσουμε τη χημική σύσταση των άστρων, τις κινήσεις τους ή τις θερμοκρασίες τους. Όλα αυτά θα παραμείνουν σε μας άγνωστα».

Παρόλ' αυτά, από τότε και μέχρι σήμερα, το φως των άστρων παρέμεινε η σπουδαιότερη πηγή πληροφοριών για τους αστρονόμους. Πραγματικά, εάν εξαιρέσουμε κάποιες προσπάθειες που γίνονται τα τελευταία χρόνια να ανοίξουν και άλλα «παράθυρα» στο Σύμπαν, μέσα από την ανάπτυξη των **ανιχνευτών βαρυτικών κυμάτων** και των **τηλεσκοπίων νετρίνων**, ο μοναδικός τρόπος που έχουμε στη διάθεσή μας, προκειμένου να μελετήσουμε τ' άστρα, αλλά και κάθε άλλο ουράνιο φαινόμενο είναι να συλλέξουμε και να κατανοήσουμε τα «μηνύματα» που είναι «κωδικοποιημένα» μέσα στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπουν. Έτσι, τα τελευταία 400 και πλέον χρόνια, από τότε δηλαδή που ο **Γαλιλαίος** (1564-1642) έστρεψε για πρώτη φορά το τηλεσκόπιό του στον έναστρο ουρανό, μέχρι σήμερα, συνεχίζουμε να μελετούμε τα άστρα και κάθε άλλο ουράνιο φαινόμενο που σχετίζεται μ' αυτά με τη βοήθεια του φωτός που εκπέμπουν, το οποίο γίνεται ο αγγελιαφόρος τους· ένας αγγελιαφόρος που μιλάει τη γλώσσα των άστρων.

Παρόλο που οι προσπάθειες για την κατανόηση της φύσης του φωτός χάνονται στα βάθη των αιώνων, το πρώτο βήμα που διέυρνε σημαντικά τις γνώσεις μας πραγματοποιήθηκε στα μέσα του 17<sup>ου</sup> αιώνα και συγκεκριμένα το 1666, όταν ο **Ισαάκ Νεύτωνας** (1642-1726) ανακάλυψε την ιδιότητα του λευκού φωτός να διαχωρίζεται στα διάφορα χρώματα που το αποτελούν, όταν περάσει μέσα από ένα γυάλινο πρίσμα. Όπως γνωρίζουμε σήμερα, αυτό συμβαίνει γιατί το λευκό ή **ορατό φως**, αποτελείται από διαφορετικά μήκη κύματος, καθένα απ' τα οποία αντιστοιχεί και σε διαφορε-



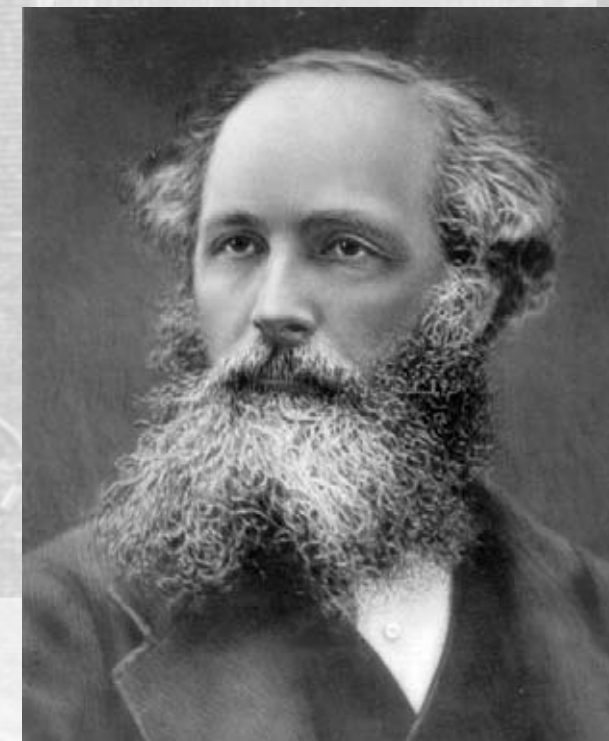
Ο Άγγλος φυσικός Ισαάκ Νεύτωνας.

τικό χρώμα, και τα οποία διαθλώνται, εκτρέπονται δηλαδή με διαφορετική γωνία, τόσο όταν εισέρχονται, όσο και όταν εξέρχονται απ' το πρίσμα, με αποτέλεσμα το λευκό φως να αναλύεται στα χρώματα που το αποτελούν. Αυτό το «φάσμα» (φάντασμα) του φωτός, όπως το ονόμασε ο Νεύτωνας, φανερώνεται σ' όλη του τη μεγαλοπρέπεια μέσα απ' το ουράνιο τόξο, που σχηματίζεται όταν το λευκό φως του Ήλιου διαθλάται περνώντας μέσα από τα σταγονίδια της βροχής, τα οποία αιωρούνται στην ατμόσφαιρα. Η φύση, όμως, του φωτός προκάλεσε μεγάλες διαμάχες ανάμεσα στους επιστήμονες από την εποχή ακόμη του Νεύτωνα.

Για παράδειγμα, ενώ ο Νεύτωνας υποστήριζε ότι το φως αποτελείται από μικροσκοπικά σωματίδια, ο σύγχρονός του Ολλανδός **Christiaan Huygens**, (1629-1695) υποστήριζε ότι το φως συμπεριφέρεται σαν κύμα και μεταδίδεται μ' έναν τρόπο παρόμοιο με τα κύματα που δημιουργούνται στο νερό μιας λίμνης, όταν ρίξουμε μια πέτρα. Η διαμάχη αυτή διήρκεσε, όπως θα δούμε, σχεδόν 3 αιώνες.

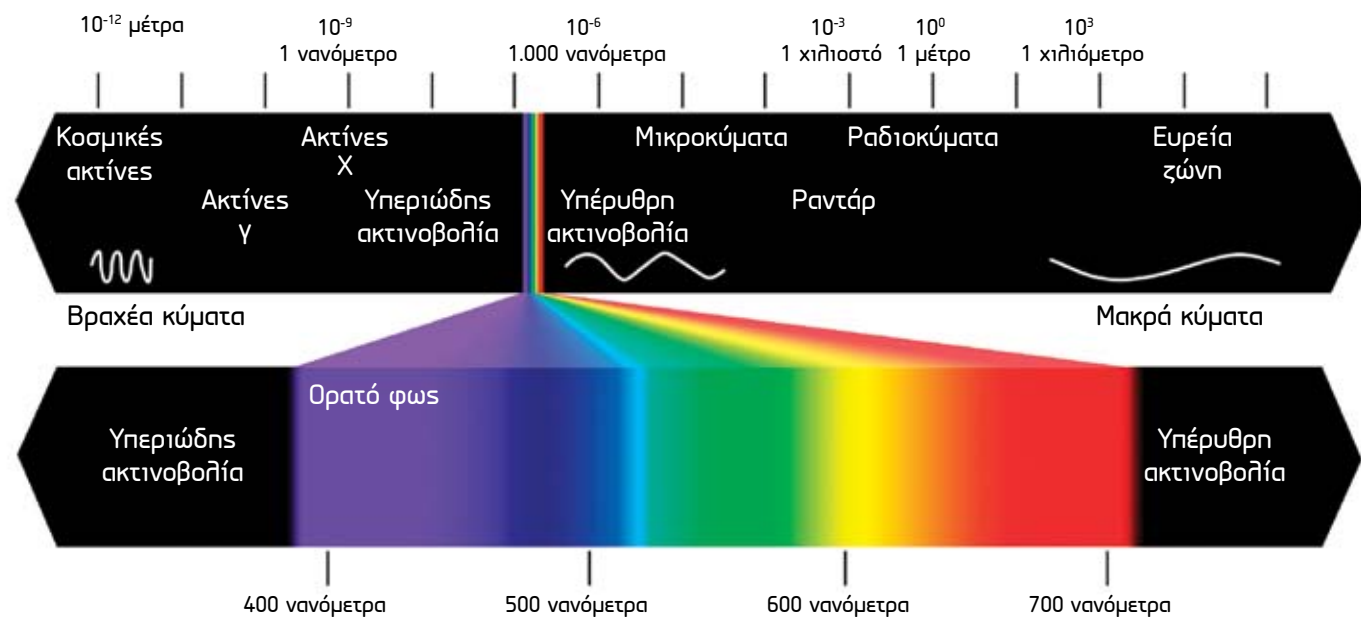
Στα χρόνια που ακολούθησαν, και με τη συμβολή επιστημόνων όπως ο Huygens, ο Άγγλος φυσικός **Thomas Young** (1773-1829) κ.ά., κάθε γνωστό ως τότε φαινόμενο που σχετιζόταν με το φως, ερμηνεύθηκε με βάση τη θεμελιώδη παραδοχή ότι το φως διαδίδεται ως κύμα, γεγονός που εδραίωσε ακόμη περισσότερο την κυματική του φύση. Πραγματικά, το μοναδικό πρόβλημα που αντιμετώπιζε τότε η κυματική θεωρία του φωτός ήταν ότι, όπως ακριβώς και τα ηχητικά κύματα, απαιτούσε τη «μεσολήβηση» κάποιου μέσου, μέσα από το οποίο διαδίδεται. Επομένως, πώς μπορούσε να διαδίδεται το φως στο κενό του Διαστήματος; Προκειμένου να παρακάμψουν αυτόν τον «σκόπελο», οι επιστήμονες της εποχής εκείνης αναγκάστηκαν να υιοθετήσουν την άποψη ότι στο κενό Διάστημα ενυπάρχει παντού και προς κάθε κατεύθυνση μια «ουσία», ένα «μέσο», με τη βοήθεια του οποίου διαδίδεται το φως, το οποίο ονομάστηκε **αιθέρας**.

Το επόμενο μεγάλο άλμα στην προσπάθεια των επιστημόνων να κατανοήσουν τη φύση του φωτός πραγματοποιήθηκε στα μέσα περίπου του 19<sup>ου</sup> αιώνα, όταν ο Σκοτσέζος φυσικός **James Clerk Maxwell** (1831-1879) ενοποίησε τα μέχρι τότε



Ο Σκοτσέζος φυσικός James Clerk Maxwell.

εντελώς διακριτά και φαινομενικά άσχετα μεταξύ τους ηλεκτρικά, μαγνητικά και οπτικά φαινόμενα σε μια ενιαία **ηλεκτρομαγνητική θεωρία**, υπολογίζοντας παράλληλα ότι κάθε ηλεκτρομαγνητική διαταραχή ταξιδεύει στο κενό με την ταχύτητα του φωτός. Μέσα, λοιπόν, απ' αυτή τη νέα ενοποιημένη θεωρία του ηλεκτρομαγνητισμού, άρχισε σιγά-σιγά να συνειδητοποιείται ότι το ορατό φως είναι μια μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, δηλαδή μεταβαλλόμενων ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων, τα οποία διαδίδονται στον χώρο ως ηλεκτρομαγνητικά κύματα, με ταχύτητα που στο κενό είναι πάντοτε η ίδια, δηλαδή 300.000 km/s (και



Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

για την ακρίβεια 299.792,458 km/s), και η οποία συνιστά και το ανώτερο όριο ταχύτητας που μπορεί να επιτύχει ένα σώμα στο Σύμπαν. Κάθε ηλεκτρομαγνητικό κύμα περιγράφεται με βάση το **μήκος κύματος** (την απόσταση δηλαδή μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών του κύματος), τη **συχνότητα** (δηλαδή τον αριθμό των διαδοχικών κορυφών που διέρχονται από ένα συγκεκριμένο σημείο κάθε δευτερόλεπτο) και την **ενέργεια** που του αντιστοιχεί. Οι μονάδες μέτρησης που χρησιμοποιούμε για τα μήκη κύματος είναι τα μέτρα και τα πολλαπλασιά τους (km, κ.λπ.), για τη συχνότητα οι κύκλοι ανά δευτερόλεπτο ή Hertz (Hz) και για την ενέργεια τα ηλεκτρονιοβόλτ (eV).

Την ίδια περίπου περίοδο άρχισε παράλληλα να συνειδητοποιείται ότι το ορατό φως δεν είναι

παρά ένα ελάχιστο μόνο τμήμα ενός ευρύτερου φάσματος συχνοτήτων και ενεργειών, που συνθέτουν το **ηλεκτρομαγνητικό φάσμα**. Ο αστρονόμος **William Herschel** (1738-1822), για παράδειγμα, ανακάλυψε γύρω στα 1800 ότι όταν τοποθετούσε ένα θερμόμετρο δίπλα στο κόκκινο τμήμα του οπτικού φάσματος, αυτό κατέγραφε άνοδο της θερμοκρασίας. Το γεγονός αυτό οδήγησε τον Herschel στο συμπέρασμα ότι είχε ανακαλύψει την ύπαρξη μιας «αόρατης» ακτινοβολίας πέρα από το ερυθρό, και γι' αυτό την ονόμασε υπέρυθη ακτινοβολία. Στις δεκαετίες που πέρασαν από τότε ανακαλύφθηκαν σιγά-σιγά όλα τα διαφορετικά είδη ακτινοβολιών του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος: το 1801 ανακαλύφθηκε η υπεριώδης ακτινοβολία από τον Γερμανό **Johann Ritter** (1778-1810), ενώ το 1888 ανακαλύφθηκαν και τα ραδιοκύματα

από τον επίσης Γερμανό φυσικό **Heinrich Hertz** (1857-1894), προς τιμή του οποίου μετράμε τη συχνότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε μονάδες που φέρουν το όνομά του. Γερμανός ήταν επίσης και ο **Wilhelm Röntgen** (1845-1923), που το 1895 ανακάλυψε τις ακτίνες X, ενώ το 1900 ανακαλύφθηκαν και οι ακτίνες γ, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με την υψηλότερη ενέργεια, από τον Γάλλο **Paul Villard** (1860-1934).

Έτσι, λοιπόν, ήταν περίπου διαμορφωμένη η κατάσταση στο τελευταίο τέταρτο του 19<sup>ου</sup> αιώνα, και η κυματική φύση του φωτός ήταν πλέον στέρεα θεμελιωμένη, όταν το 1887, οι Αμερικανοί φυσικοί **Albert Michelson** (1852-1931) και **Edward Morley** (1838-1923), με το περίφημο πλέον πείραμα που φέρει τα ονόματά τους, απέδειξαν ότι ο υποθετικός αιθέρας δεν υπήρχε στο Διάστημα. Πολύ περισσότερο, το 1900, ο Γερμανός φυσικός **Max Planck** (1858-1947) στην προσπάθειά του να κατανοήσει τον 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, θεωρούσε ότι η ενέργεια απορροφάται και εκπέμπεται **ασυνεχώς**, με τη μορφή δηλαδή μικρών «πακέτων» ενέργειας, που ονομάστηκαν **κβάντα**. Τη σκυτάλη στη συνέχεια πήρε ο Αϊνστάιν, ο

οποίος στηριζόμενος στη βασική ιδέα του Planck για τα κβάντα, κατάφερε να εξηγήσει το **φωτοηλεκτρικό φαινόμενο**, σύμφωνα με το οποίο η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια μεταλλική πλάκα απελευθερώνει ηλεκτρόνια, υποστηρίζοντας ότι και το φως μεταφέρει την ενέργειά του σε μικρά «πακέτα» ενέργειας. Έτσι, απέδειξε ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτελείται από μικροσκοπικά σωματίδια ή κβάντα φωτός, που ονομάστηκαν **φωτόνια**. Για την ερμηνεία του αυτή ο Αϊνστάιν τιμήθηκε με το Νόμπελ Φυσικής το 1921. Επομένως, ποια είναι τελικά η φύση του φωτός: κυματική ή σωματιδιακή; Η σύγχρονη απάντηση είναι και τα δύο! Αυτή η κυματοσωματιδιακή δυαδικότητα της φύσης του φωτός, σύμφωνα με την οποία το φως συμπεριφέρεται άλλοτε ως κύμα και άλλοτε ως σωματίδια, βρίσκεται στην καρδιά της κβαντικής φυσικής που, μαζί με τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας του Αϊνστάιν αποτελούν τους

Ραδιοτηλεσκοπία της διάταξης ATCA στην Αυστραλία [Graeme L. White & Glen Cozens (James Cook University)].

δύο πυλώνες πάνω στους οποίους θεμελιώθηκε το λαμπρό οικοδόμημα της σύγχρονης Φυσικής.

Στο ηλεκτρομαγνητικό, λοιπόν, φάσμα το πρώτο σπουδαίο εύρος συχνοτήτων είναι τα **ραδιοκύματα**, δηλαδή η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με τα μεγαλύτερα μήκη κύματος και τις μικρότερες συχνότητες και ενέργειες, στις οποίες συγκαταλέγονται και οι ραδιοτηλεοπτικές εκπομπές. Από την πρώτη ανίχνευση ραδιοκυμάτων στις αρχές της δεκαετίας του 1930 μέχρι την κατασκευή των σύγχρονων γιγάντιων ραδιοτηλεσκοπίων και ραδιοσυμβολομέτρων, 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.

Στη συνέχεια ακολουθούν τα **μικροκύματα**. Η ανίχνευση της μικροκυματικής ακτινοβολίας υποβάθρου, καθώς και των ανισοτροπιών που τη χαρακτηρίζουν, από τον δορυφόρο COBE, συγκαταλέγεται, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, ανάμεσα στα κορυφαία επιστημονικά επιτεύγματα του 20<sup>ου</sup> αιώνα, που αναγνωρίστηκε με την απονομή του Νόμπελ Φυσικής 2006 στους επικεφαλής ερευνητές John C. Mather και George F. Smoot.

Από εδώ και πέρα περνάμε στη νέα περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, που ανακάλυψε ο

Herschel, δηλαδή το **υπέρυθρο**. Επειδή, όμως, η υπέρυθρη ακτινοβολία αδυνατεί, στο μεγαλύτερο τμήμα της, να διαπεράσει τη γήινη ατμόσφαιρα, τα δεδομένα που συλλέγουμε σ' αυτή την περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος προέρχονται από δορυφορικά όργανα που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη Γη, όπως το διαστημικό τηλεσκόπιο **Herschel**, ενώ στην επιφάνεια του πλανήτη μας τα υπέρυθρα κύματα, με μήκος μικρότερο του 1mm, γίνονται αισθητά από το δέρμα μας ως θερμότητα. 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 αδύνατη. Επί πλέον, σε αντίθεση με το ορατό φως, τα νέφη της μεσοαστρικής σκόνης είναι διαφανή στα υπέρυ-

θρα μήκη κύματος, γεγονός που επιτρέπει, για παράδειγμα, την παρατήρηση νεαρών άστρων μέσα σε γιγάντια μοριακά νέφη.

Στη συνέχεια ακολουθεί το **ορατό** τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, δηλαδή των συχνοτήτων που είναι αντιληπτές από την ανθρώπινη όραση, ενώ πέρα απ' αυτό συναντάμε την **υπεριώδη** ακτινοβολία. Αν και δεν μπορούμε να τη «δούμε» απ' ευθείας, μπορούμε εντούτοις να δούμε τα αποτελέσματα που επιφέρει ένα μικρό μέρος της προερχόμενο από τον Ήλιο, καθώς το μαύρισμα του δέρματός μας οφείλεται σ' αυτό το μικρό μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας που κατορθώνει να διαπεράσει την ατμόσφαιρά μας. Το μεγαλύτερο φυσικά μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας εμποδίζεται, ευτυχώς για 'μας, από

*Το διαστημικό τηλεσκόπιο Herschel  
(ESA/AOES Medialab, Hubble Space Telescope, NASA/ ESA/ STScI).*

*Το διαστημικό τηλεσκόπιο Integral (ESA).*



την ατμόσφαιρα, όπως εξάλλου συμβαίνει και για τις ακτινοβολίες **X** και **γ**, δηλαδή τις ακτινοβολίες με τα μικρότερα μήκη κύματος και τις υψηλότερες ενέργειες. Γι' αυτόν τον λόγο και οι παρατηρήσεις του Σύμπαντος των ακτίνων X και γ εκτελούνται αποκλειστικά και μόνο από το Διάστημα.

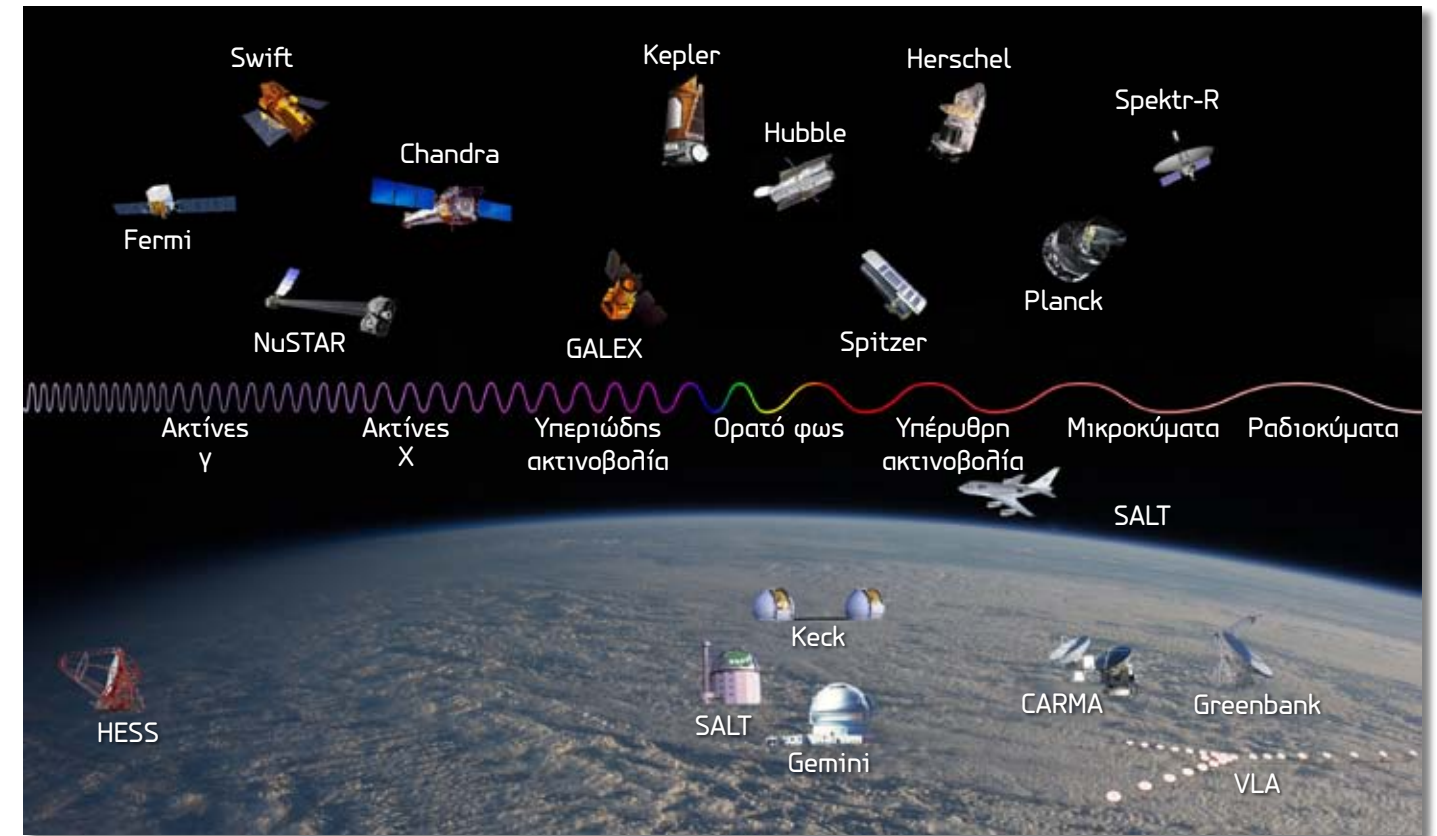
Τα τροχιακά αστεροσκοπεία ακτίνων X χρησιμοποιούνται στη μελέτη παράξενων ουράνιων σωμάτων, όπως είναι τα πάλσαρ, οι μαύρες τρύπες και οι ενεργοί γαλαξιακοί πυρήνες. Αν και οι πρώτοι δορυφόροι ακτίνων X είχαν τεθεί σε τροχιά ήδη από τη δεκαετία του '70, τα νέας γενιάς τροχιακά αστεροσκοπεία, όπως το **Chandra** διευρύνουν συνεχώς τις γνώσεις μας για τα βίαια κοσμικά φαινόμενα που μελετούν. Οι ακτίνες γ, τέλος, δηλαδή η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με την υψηλότερη ενέργεια, εκπέμπονται κι αυτές στη διάρκεια ορισμένων από τα βιαιότερα φαινόμενα που μπορούμε να παρατηρήσουμε στο Σύμπαν, 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 των ακτίνων γ άρχισε σχετικά πρόσφατα, μόλις στα μέσα της δεκαετίας του '60, όταν ανιχνεύθηκαν για πρώτη φορά ακτίνες γ προερχόμενες από το Διάστημα χάρη στους δορυφόρους **Vela**, των οποίων η κύρια αποστολή ήταν να προσέχουν για τυχόν παραβιάσεις της διεθνούς συμφωνίας που απαγόρευε τις πυρηνικές δοκιμές.

Όλα αυτά τα τηλεσκόπια, επίγεια και διαστημικά, συνεχίζουν και σήμερα να χαρτογραφούν με όλο και μεγαλύτερη λεπτομέρεια το αχανές Σύμπαν

και να συλλέγουν όλο και περισσότερα δεδομένα για τα αναρίθμητα και παράξενα ουράνια σώματα και φαινόμενα που κρύβει, αποκαλύπτοντας στην πορεία το «αόρατο» Σύμπαν σε όλη του την ομορφιά και βιαιότητα. Ήδη μάλιστα η επόμενη γενιά των μεγάλων επίγειων τηλεσκοπίων και τροχιακών αστεροσκοπειών, που θα αντικαταστήσει επάξια τους προκατόχους της, έχει αρχίσει να κατασκευάζεται, και τα οποία με τη λειτουργία τους θα συμβάλουν σημαντικά στις προσπάθειες των αστρονόμων να απαντήσουν στα αναπάντητα ακόμη ερωτήματα που αντιμετωπίζει η σύγχρονη αστρονομία.

Δεν είναι λοιπόν υπερβολή όταν λέμε ότι η ανάπτυξη της τεχνολογίας και των διαστημικών αποστολών, μας «άνοιξε» κυριολεκτικά τα μάτια σ' έναν κόσμο άγνωστο μέχρι το 1960. Γιατί από τη νέα θέση τους στο Διάστημα τα τροχιακά μας αστεροσκοπεία μάς βοηθούν να αποκρυπτογραφήσουμε τα μυστικά του Σύμπαντος, και μ' αυτόν τον τρόπο μπορούμε σήμερα να λάβουμε και να αποκρυπτογραφήσουμε τα μηνύματα των ακτινοβολιών από το Σύμπαν, κάτι που ήταν αδύνατο στο παρελθόν. Αυτό μάλιστα γίνεται ιδιαίτερα εμφανές όταν συγκρίνουμε μεταξύ τους τις διάφορες «όψεις» που λαμβάνουμε από το Σύμπαν σε διαφορετικές περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Είναι τότε αρκετά εύκολο να ερμηνεύσουμε την πληθώρα των πληροφοριών που ήταν, μέχρι πρόσφατα, «αόρατες» στα μάτια μας. Πληροφορίες που μας έχουν επιτρέψει να κατανοήσουμε καλύτερα τη «γλώσσα» των άστρων.

Τα σύγχρονα δηλαδή όργανα των αστροφυσικών



Σημαντικά επίγεια αστεροσκοπεία και διαστημικά τηλεσκόπια σε όλο το εύρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

μάς επιτρέπουν να «βλέπουμε» το Σύμπαν με άλλα «μάτια». Αυτό που ανακαλύπτουμε είναι ότι βρισκόμαστε αντιμέτωποι μ' ένα συναρπαστικό και πολύπλοκο οικοδόμημα, στολισμένο με γοητευτικά αντικείμενα, μυστηριώδη αινίγματα, και μία ποικιλία φαινομένων που συνταράζουν τον νου μας. Μ' αυτή λοιπόν την έννοια, τα επίγεια και τροχιακά τηλεσκόπια διερευνούν καθημερινά, ημέρα και νύχτα, τα σκοτεινά μονοπάτια του χώρου και του χρόνου, αναζητώντας τις απαντήσεις στα αναπάντητα ακόμη ερωτήματα για τ' άστρα και το Σύ-

μπαν. Με τη βοήθεια των δεκάδων αστρονομικών συσκευών μας που είναι τοποθετημένες στις βουνοκορφές του πλανήτη μας και στο Διάστημα, η σύγχρονη επιστήμη αποκωδικοποιεί και ερμηνεύει τα μηνύματα που μεταφέρει η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, διαπερνώντας με πολύμορφους τρόπους τα μυστικά μονοπάτια νεογέννητων άστρων και απόμακρων γαλαξιών. Έτσι, κάθε χρόνο οι γνώσεις μας για το Σύμπαν πολλαπλασιάζονται, ανοίγοντάς μας πραγματικούς νέους ορίζοντες για την κατανόησή του.



## 7. Η ταξινόμηση των άστρων

Εδώ και χιλιάδες χρόνια, τα ίδια άστρα στους ίδιους σχηματισμούς ρίχνουν το ακνό τους φως πάνω στη Γη μας. Οι αρχαίοι ησασί, νάνοι μπροστά στο αχανές Σύμπαν, προσπαθούσαν να δώσουν μια εξήγηση σε όλα όσα έβλεπαν, ενώ πολλοί από αυτούς πίστευαν ότι το σκοτάδι της νύχτας οφειλιόταν σ' έναν μαύρο χιτώνα γεμάτο τρύπες, με τον οποίο οι θεοί τους σκέπαζαν κάθε βράδυ τον ουράνιο θόλο. Και οι τρύπες αυτές ήταν γι' αυτούς τα άστρα του ουρανού. Πίστευαν μάλιστα ότι αν κατόρθωναν να σκαρφαλώσουν στην κορυφή ενός πανύψηλου βουνού, θα τους ήταν δυνατό να φτάσουν και ν' αγγίξουν έτσι τ' άστρα.

Σήμερα φυσικά γνωρίζουμε ότι τ' άστρα δεν είναι τρύπες στον ουρανό και ότι οι αποστάσεις τους από τη Γη είναι τεράστιες. Το πλησιέστερο σ' εμάς άστρο είναι ο Ήλιος, σε απόσταση 150 εκατομμυρίων km, ενώ το αμέσως επόμενο άστρο, που στην πραγματικότητα είναι ένα τριπλό σύστημα με την ονομασία **άλφα Κενταύρου**, βρίσκεται σε απόσταση 44 τρισεκατομμυρίων km. Επειδή όμως οι αριθμοί αυτοί είναι τόσο μεγάλοι ώστε χάνουν στην ουσία τη σημασία τους, ασ τους κοιτάζουμε από μίαν άλλη σκοπιά, αυτή του χρόνου που θα χρειαζόμασταν για να φτάσουμε μέχρι εκεί. Αν λοιπόν ταξιδεύαμε με ένα διαστημόπλοιο με ταχύτητα 50.000 km/h, θα φτάναμε στη Σελήνη σε 8 ώρες, στον Ήλιο σε 125 ημέρες, και στον άλφα του Κενταύρου σε 92.880 χρόνια! Το πιο απόμακρο αντικείμενο που έχουμε παρατηρήσει βρίσκεται τόσο μακριά από μας ώστε το φως του χρειάζεται περισσότερα από 13 δισεκατομμύρια χρόνια για να φτάσει μέχρι τη Γη μας. Γι' αυτό στην αστρονομία χρησιμοποιούμε ως μέτρο των αποστάσεων το **έτος φωτός**, δηλαδή την απόσταση που διανύει μία ακτίνα φωτός σε έναν χρόνο, κινούμενη με ταχύτητα 300.000 km/s, που σημαίνει ότι ένα έτος φωτός ισούται με περίπου 9,5 τρισεκατομμύρια km.

Παρόλως όμως τις τεράστιες αποστάσεις που μας χωρίζουν από τα άστρα του έναστρου ουρανού, μπορούμε να προβούμε σε ορισμένες παρατηρήσεις για τον τρόπο με τον οποίο μας φαίνονται καταμεμημένα. Από τους αρχαίους άλλωστε χρόνους, οι παρατηρητές του ουρανού

προσπάθησαν με κάθε τρόπο να δώσουν μια πιο οργανωμένη εμφάνιση σ' αυτό το αστρικό χάος, με αποτέλεσμα τη γέννηση των αστερισμών. Οι **αστερισμοί** δηλαδή δεν είναι παρά ομάδες άστρων, οι οποίες αποτελούνται κυρίως από τα πιο λαμπερά άστρα μιας περιοχής του ουρανού. Τα άστρα ενός αστερισμού δεν βρίσκονται φυσικά στις ίδιες αποστάσεις από 'μας, παρόλο που από τη Γη φαίνονται να είναι το ένα κοντά στο άλλο· στην πραγματικότητα δύο γειτονικά άστρα μπορεί να απέχουν τεράστιες αποστάσεις μεταξύ τους και απλώς φαίνονται να είναι το ένα κοντά στο άλλο μόνο και μόνο λόγω της γωνίας από την οποία εμείς τα βλέπουμε, βρίσκονται δηλαδή στην ίδια περίπου κατεύθυνση.

Μέχρι πρότινος θεωρούσαμε ότι οι πρώτοι αστερισμοί πρέπει να πήραν τις ονομασίες τους από τους αρχαίους Βαβυλωνίους, αλλά νεότερες έρευνες μάς αποκάλυψαν ότι η πρώτη ολοκληρωμένη διάταξη των περισσότερων αστερισμών, που είναι ορατοί από το βόρειο ημισφαίριο της Γης, πρέπει να πραγματοποιήθηκε από τους ναυτικούς του **Μινωικού Πολιτισμού**. Αυτό προκύπτει γιατί φαίνεται ότι ο πρώτος και κύριος σκοπός της δημιουργίας των αστερισμών ήταν η χρησιμοποίησή τους ως βοηθητικό μέσο προσανατολισμού των αρχαίων ναυτικών. Πραγματικά, αν παρατηρήσουμε τη θέση των αστερισμών στον ουράνιο θόλο, θα δούμε ότι ήταν προσεκτικά τοποθετημένοι σε σχέση με την τοποθεσία του ουράνιου βόρειου πόλου, του ουράνιου ισημερινού, και των άλλων ουράνιων συντεταγμένων των

ετών μεταξύ του 3000 και 2000 π.Χ.. Ο αρχικός δηλαδή σκοπός της δημιουργίας των αστερισμών βασιζόταν στις ναυσιπλοϊκές ανάγκες των Μινών, του κατ' εξοχήν ναυτιλιακού λαού της πανάρχαιας εκείνης εποχής. Με τη βοήθεια του αρχικού αυτού διαχωρισμού, οι αρχαίοι Έλληνες της Κλασικής περιόδου έδωσαν στη συνέχεια μια πιο οργανωμένη μορφή σε 48 συνολικά αστερισμούς που φαίνονταν από τη χώρα μας. Σ' αυτούς τους αρχαίους αστερισμούς προστέθηκαν αργότερα 40 ακόμη αστερισμοί από τους διάφορους θαλασσοπόρους της Αναγέννησης, οι οποίοι, μαζί με τους νέους κόσμους που ανακάλυψαν, είδαν επίσης για πρώτη φορά τους αστερισμούς του νότιου ουράνιου ημισφαιρίου.

Οι αστερισμοί φυσικά ήταν και είναι μια αυθαίρετη ανθρώπινη προσπάθεια χαρτογράφησης του ουρανού, με σχήματα και εικόνες συχνά παρμένες από τη μυθολογία του κάθε λαού, ώστε να φαίνεται πιο οικείος. Γι' αυτό και μόνο με αρκετή δόση φαντασίας μπορούμε να αναγνωρίσουμε στα σχήματα των αστερισμών τα ζώα, τους ημίθεους και τα άλλα αντικείμενα απ' τα οποία πήραν το όνομά τους. Σήμερα, προκειμένου να υπάρχει ένας πιο οργανωμένος και διεθνώς αποδεκτός χωροταξικός διαχωρισμός του ουρανού, η Διεθνής Αστρονομική Ένωση όρισε στη δεκαετία του '20 τα επακριβή όρια καθενός από τους 88 αστερισμούς, διατηρώντας φυσικά τις αρχικές τους ονομασίες. Διατηρήθηκε επίσης και ο αρχαίος τρόπος ονομασίας των λαμπερότερων άστρων κάθε αστερισμού, που είχαν χρησιμοποι-

ήσει πρώτα ο **Ίνναρχος** (2<sup>ος</sup> αιώνας π.Χ.) και αργότερα ο **Κλαύδιος Πτολεμαίος** (2<sup>ος</sup> αιώνας μ.Χ.), οι οποίοι καταλογογράφησαν 1.022 από τα 3.000 περίπου άστρα που φαίνονται με γυμνό μάτι στο βόρειο ουράνιο ημισφαίριο.

Η σύγχρονη ονοματολογία των άστρων βασίζεται στο σύστημα που χρησιμοποίησε ο Γερμανός αστρονόμος **Johann Bayer** (1572-1625) στην **Ουρανομετρία** του το 1603. Με βάση αυτό το σύστημα, το λαμπερότερο άστρο κάθε αστερισμού ονομάζεται **άλφα**, το αμέσως επόμενο **βήτα**, και ούτω

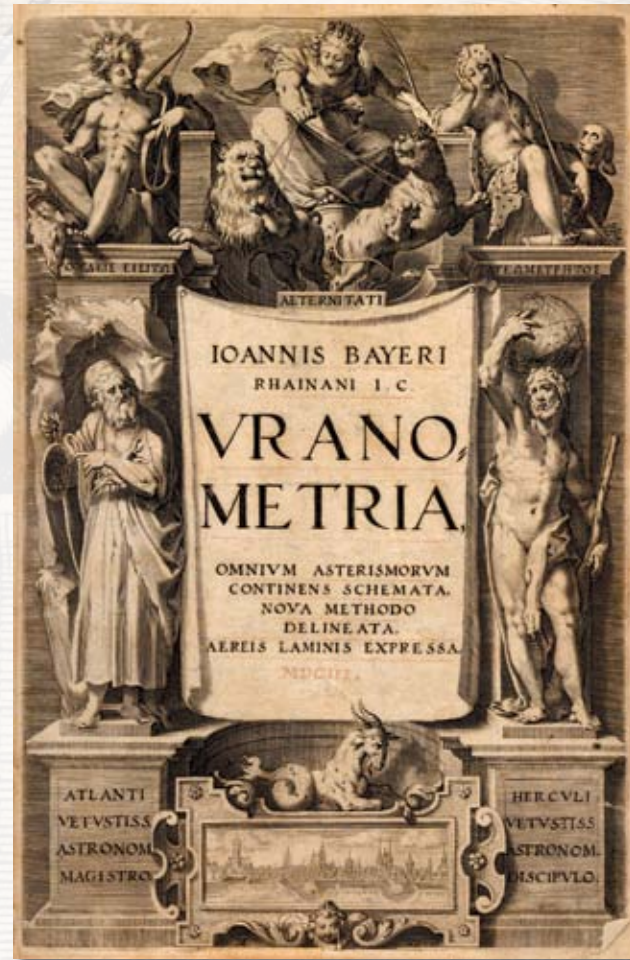


Ο αστρονόμος Πτολεμαίος.



καθεξής μέχρι να τελειώσουν και τα 24 γράμματα της Ελληνικής αλφαβήτου. Έτσι, το λαμπρότερο άστρο στον αστερισμό του Ταύρου ονομάζεται **άλφα Ταύρου**, ενώ το δεύτερο λαμπρότερο άστρο στον αστερισμό της Παρθένου ονομάζεται **βήτα Παρθένου**, κ.λπ.. Μετά από τα 24 γράμματα της Ελληνικής αλφαβήτου οι ονομασίες των άστρων προσδιορίζονται με τα μικρά γράμματα του Λατινικού αλφαβήτου αλλά και με τον αριθμό του αστρικού καταλόγου στον οποίο έχουν καταγραφεί. Μερικές δεκάδες μόνον άστρα, τα πιο λαμπρά στον ουρανό, έχουν κρατήσει ακόμα κάποιο ιδιαίτερο όνομα που βασίζεται είτε στην αρχαία Ελληνική του ονομασία, είτε στην ονομασία που του έδωσαν οι Άραβες πριν από 10 περίπου αιώνες. Έτσι, ο **άλφα Ταύρου**, για παράδειγμα, ονομάζεται και **Λαμπαδίας** (Ελληνικά) ή **Αλντεμπαράν** (Αραβικά), ο **άλφα Ωρίωνος** ονομάζεται και **Μπετελγέζ** (Αραβικά), και ο **άλφα Σκορπιού** ονομάζεται και **Αντάρης** (Ελληνικά) κ.λπ..

Ενώ όμως σήμερα αναγνωρίζουμε εύκολα άστρα και αστερισμούς, συχνά οι περισσότεροι από 'μας ξεχνούν ότι κάθε άστρο είναι στην πραγματικότητα κι ένας ήλιος σαν τον δικό μας. Τα άστρα δηλαδή είναι γιγάντιες σφαίρες αερίων που εκλύουν συνεχώς τεράστιες ποσότητες ενέργειας, όπως η έκρηξη δισεκατομμυρίων βομβών υδρογόνου, με τη διαφορά ότι η έκρηξη μιας βόμβας υδρογόνου διαρκεί λίγα μόνο δευτερόλεπτα, ενώ οι πυρηνικές εκρήξεις στην καρδιά των άστρων διαρκούν εκατομμύρια ή και δισεκατομμύρια χρόνια. Και αυτές οι εκρήξεις είναι που χαρίζουν σ' άστρα τη λάμψη τους. Παρόλο όμως που όλα τ' άστρα



Σελίδα τίτλου της «Ουρανομετρίας» του Bayer.

λάμπουν με την ίδια διαδικασία, εν τούτοις δεν φαίνονται όλα όμοια στον ουρανό. Μερικές μάλιστα διαφορές μπορούν να παρατηρηθούν και δίχως τηλεσκόπιο. Άλλα είναι λαμπρότερα και άλλα πιο αμυδρά, άλλα είναι κόκκινα ενώ άλλα λευκά. Οι διαφορές αυτές στην εμφάνιση των άστρων οφείλονται σε τρεις κυρίως παράγοντες: στην απόστασή τους από τη Γη, στο μέγεθός τους και στη θερμοκρασία τους.

Είναι εμφανές ότι οι αποστάσεις των άστρων από τη Γη επηρεάζουν τη φωτεινότητά τους, αφού όσο πιο μακριά βρίσκεται ένα άστρο τόσο πιο αμυδρό φαίνεται. Αλλά και το μέγεθός τους παίζει ρόλο στην εμφάνιση που έχει καθένα απ' αυτά. Ένα δηλαδή άστρο με όγκο πολλαπλάσιο ενός άλλου, σε ίδιες από 'μας αποστάσεις, θα φαίνεται πολύ πιο λαμπερό. Τέλος, το χρώμα ενός άστρου αποτελεί κι αυτό έναν ακόμη παράγοντα της διαφοροποίησης που έχει η εμφάνισή του. Οι διαφορές αυτές στη φωτεινότητα των άστρων, μας έδωσαν ένα αρκετά καλό μέτρο μιας αρχικής σύγκρισης και ταξινόμησής τους. Γι' αυτό από πολύ παλιά ο άνθρωπος προσπάθησε να ταξινομήσει τα διάφορα απόμακρα φωτεινά σημεία του ουρανού μ' έναν πιο συστηματικό τρόπο.

Πριν από 2.150 χρόνια, ο Ίππαρχος ταξινόμησε τ' άστρα με βάση τη φωτεινότητα με την οποία φαίνονται στο γυμνό μάτι μας, με βάση δηλαδή το **φαινόμενο μέγεθός** τους. Τα πιο λαμπρά άστρα τα ονόμασε **πρώτου μεγέθους**, και τα πιο αμυδρά **έκτου**, ενώ όλα τ' άλλα ταξινόμηθηκαν στις ενδιάμεσες κατηγορίες. Σήμερα φυσικά στα διάφορα αστεροσκοπεία διαθέτουμε πολλά όργανα επακριβούς μέτρησης της φωτεινότητας των άστρων. Η αστρική δηλαδή φωτομετρία είναι πλέον μια βασική μέθοδος προσδιορισμού του φαινομένου μεγέθους των άστρων, με τη βοήθεια οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά στα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα.

Το άστρο α Ταύρου, για παράδειγμα, έχει μέγεθος 1,1 και ο Βέγας (α Λύρας) έχει μέγεθος 0,1, ενώ

ο Σείριος (α Μεγάλου Κυνός), που είναι το λαμπρότερο άστρο στον ουρανό, έχει μέγεθος -1,4. Με την ίδια αυτή ταξινόμηση, η Αφροδίτη, ο λαμπρότερος πλανήτης και συνάμα το λαμπρότερο ουράνιο σώμα στον νυχτερινό ουρανό μετά τη Σελήνη, έχει μέγεθος -4,4, η Πανσέληνος -12,6, και ο Ήλιος -26,8. Αυτό σημαίνει ότι η Πανσέληνος είναι 2.000 φορές πιο φωτεινή από την Αφροδίτη, ενώ ο Ήλιος είναι 525.000 φορές πιο φωτεινός από την Πανσέληνο, ένα δισεκατομμύριο φορές πιο φωτεινός από την Αφροδίτη και 15 δισεκατομμύρια φορές πιο φωτεινός από τον Σείριο. Το 1856 ο Άγγλος αστρονόμος **Norman Robert Pogson** (1829-1891) επεσήμανε για πρώτη φορά ότι τα άστρα πρώτου μεγέθους είχαν 100 φορές μεγαλύτερη φωτεινότητα από τα άστρα έκτου μεγέθους. Στην κλίμακα δηλαδή του Ίππαρχου κάθε αστρικό μέγεθος έχει 2,5 φορές μεγαλύτερη φωτεινότητα από το προηγούμενό του. Με τα σύγχρονα, βέβαια, τηλεσκόπια μπορούμε σήμερα να δούμε άστρα που είναι δεκάδες εκατομμύρια φορές πιο αμυδρά από αυτά που έβλεπαν οι αρχαίοι.

Η αρχική όμως ταξινόμηση των άστρων από τον Ίππαρχο και τον Πτολεμαίο, δεν μας βοηθάει σήμερα πάρα πολύ στις παρατηρήσεις μας, γιατί το φαινόμενο μέγεθος ενός άστρου δεν προσδιορίζει την πραγματική του λαμπρότητα. Γι' αυτό μια πιο σύγχρονη ταξινόμηση των άστρων έχει ως βάση την ποσότητα της φωτεινής ενέργειας που φτάνει κάθε δευτερόλεπτο σε μια δεδομένη επιφάνεια (του ματιού μας ή κάποιου οργάνου μας) από το παρατηρούμενο άστρο. Επειδή μάλιστα η απόσταση ενός άστρου επηρεάζει το φαινό-

μενο μέγεθός του, οι αστρονόμοι χρησιμοποιούν σήμερα ένα άλλο σύστημα απόλυτων μεγεθών. Τοποθετούν θεωρητικά τα άστρα σε μια δεδομένη απόσταση 32,6 ετών φωτός από τη Γη (ή 10 παρσέκ, όπου ένα παρσέκ είναι ίσο με 3,26 έτη φωτός), και σ' αυτή την απόσταση συγκρίνουν τη λαμπρότητα των άστρων μεταξύ τους. Με άλλα λόγια, ο όρος **απόλυτο μέγεθος** αναφέρεται στο πόσο λαμπερό θα ήταν ένα δεδομένο άστρο αν βρισκόταν σε απόσταση 32,6 ετών φωτός από τη Γη μας.


Σ' αυτή την κλίμακα το απόλυτο μέγεθος του Ήλιου είναι 4,8, του Σείριου 1,4, ενώ το απόλυτο μέγεθος του Πολιτικού αστέρα είναι -4,6. Τα απόλυτα δηλαδή μεγέθη των τριών αυτών άστρων μάς δείχνουν ότι ο Πολιτικός είναι το λαμπρότερο, ο Σείριος το αμέσως λαμπρότερο, και ο Ήλιος είναι τελευταίος. Ο Σείριος δηλαδή είναι 23 φορές πιο λαμπερός από τον Ήλιο μας. Σ' αυτήν όμως την ταξινόμηση χρειάζεται να γνωρίζουμε απαραίτητα την πραγματική απόσταση ενός άστρου, διαφορετικά δεν είναι δυνατόν να υπολογίσουμε το απόλυτο μέγεθός του.

Εκτός όμως από τη λαμπρότητά τους τα άστρα έχουν και ένα άλλο χαρακτηριστικό που είναι εύκολα ορατό: το χρώμα τους. Γιατί όλα τ' άστρα έχουν κάποιο χαρακτηριστικό χρώμα που σχετίζεται άμεσα με τη θερμοκρασία που επικρατεί στην επιφάνειά τους. Επειδή, όμως, κάθε άστρο έχει και διαφορετική επιφανειακή θερμοκρασία, υπάρχουν άστρα που περιλαμβάνουν όλα σχεδόν τα χρώματα της ίριδας: το γαλάζιο, το λευκό, το κίτρινο, το

κόκκινο, κ.λπ.. Τα κόκκινα άστρα είναι τα λιγότερο θερμά και τα γαλάζια τα περισσότερο θερμά. Συμβαίνει δηλαδή και στα άστρα το ίδιο πράγμα που συμβαίνει και σε μια σιδερόβεργα όταν τη βάζουμε σ' ένα αναμμένο τζάκι. Στην αρχή, η σιδερόβεργα παίρνει ένα χρώμα κοκκινωπό, όταν όμως αρχίζει να θερμαίνεται όλο και πιο πολύ, το χρώμα της αλλιάζει και παίρνει διαδοχικά διαφορετικούς χρωματισμούς: πορτοκαλί, κίτρινο, λευκό, μέχρις ότου, όταν θερμανθεί πάρα πολύ, αρχίζει να λάμπει μ' ένα γαλαζωπό χρώμα. Με βάση λοιπόν τα χρώματα (το τμήμα δηλαδή του ορατού φάσματος στο οποίο λάμπουν περισσότερο) και κατά συνέπεια την επιφανειακή θερμοκρασία των άστρων, οι αστρονόμοι τα ταξινομούν σε διαφορετικούς τύπους, που ονομάζονται **φασματικοί τύποι**. Έτσι, σήμερα υπάρχουν επτά κύριοι φασματικοί τύποι άστρων: O, B, A, F, G, K, M. Καθένας από τους τύπους αυτούς χωρίζεται σε δέκα αριθμητικές υποκατηγορίες. Έτσι, έχουμε άστρα τύπου A0, B3, O6, G9, K4, κ.λπ.. Σ' αυτές λοιπόν τις κατηγορίες τα άστρα τύπου O είναι τα πιο θερμά (γαλαζόλευκα), ενώ τα άστρα τύπου M είναι τα λιγότερο θερμά (κόκκινα). Έχουν διατηρηθεί επίσης τρεις ακόμη κατηγορίες (R, N, S), οι οποίες αφορούν σε άστρα με θερμοκρασία κάτω των 3.000 °C, αν και δεν χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα πλέον.

Τα πιο θερμά άστρα τύπου O είναι ελάχιστα, με γαλάζιο χρωματισμό και επιφανειακή θερμοκρασία που φτάνει τους 30.000 °C, και με αντιπροσωπευτικό το άστρο Αθλιλάκ (ζ Ωρίωνος). Στα άστρα του τύπου B η θερμοκρασία κυμαίνεται από 12.000 έως 25.000 °C. Έχουν κυανόλευκο χρωματισμό με

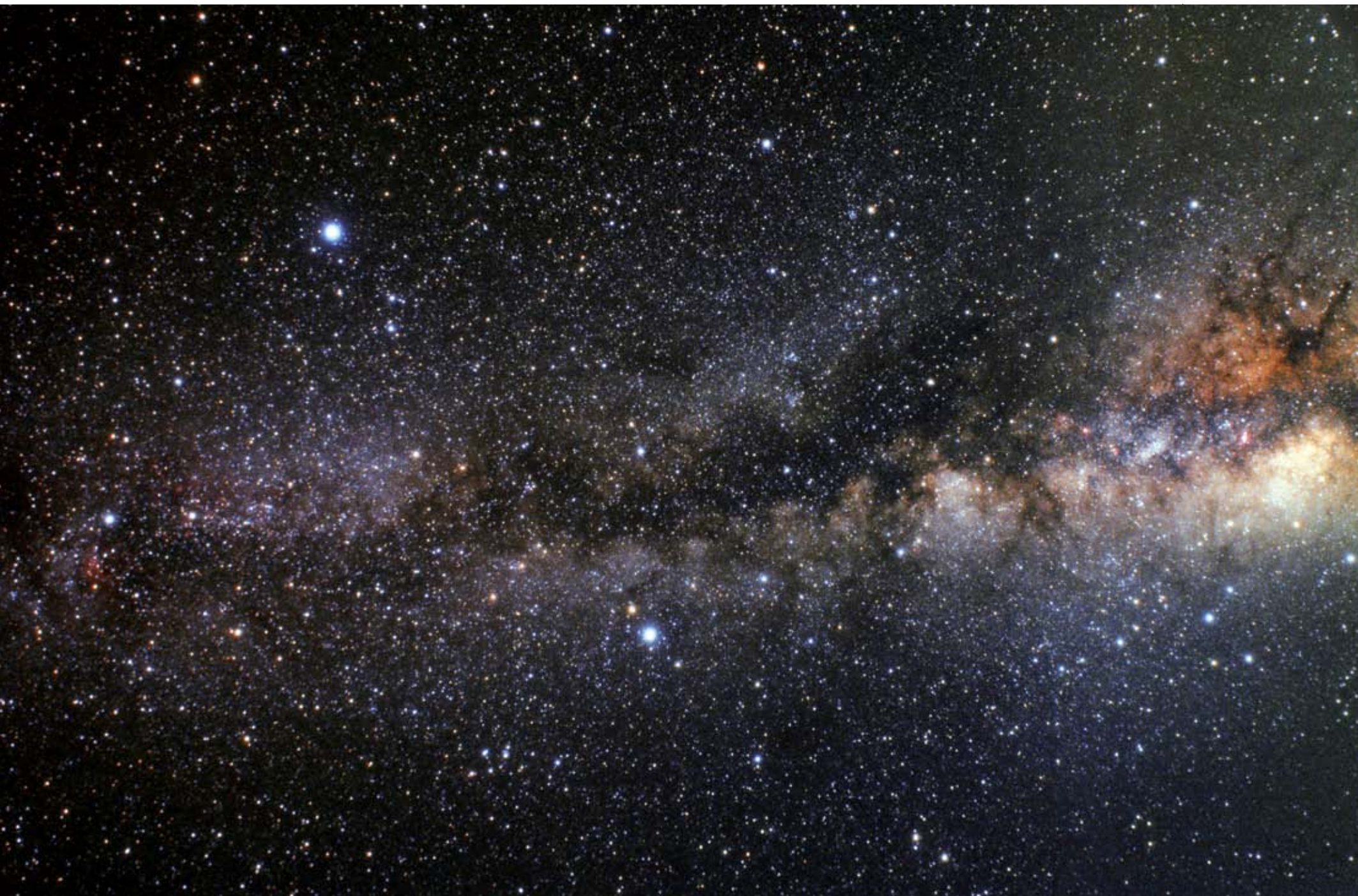
## ΤΟ ΧΡΩΜΑ ΤΩΝ ΑΣΤΡΩΝ

Χρώμα	Άστρο και αστερισμός	Επιφανειακή θερμοκρασία (°C)
	Ρίγκελ (Ωρίωνα)	28.000 – 11.000
	Σείριος (Μεγάλου Κυνός)	11.000 – 7.500
	Ήλιος	6.000 – 5.000
	Αλδεβάραν (Ταύρου)	5.000 – 3.600
	Μπετελγκέζ (Ωρίωνα)	3.600 – 2.000

αντιπροσωπευτικά τα άστρα Ρίγκελ (β Ωρίωνα) και Στάχυ (α Παρθένου). Αντίθετα, ο Σείριος και Βέγας είναι άστρα τύπου A με λευκό χρωματισμό και θερμοκρασία που κυμαίνεται από 8.000 έως 12.000 °C. Τα άστρα του τύπου F είναι λευκά άστρα με θερμοκρασία 7.000 έως 8.000 °C και αντιπροσωπευτικά είναι τα άστρα Κάνωπο (α Καρίνας) και Προκύωνα (α Μικρού Κυνός). Τα άστρα σαν τον Ήλιο μας, που είναι τύπου G αποτελούν περίπου το 5% των άστρων του Γαλαξία μας, έχουν θερμοκρασία 5.000 - 6.000 °C και κιτρινόλευκο χρωματισμό (Ήλιος και Αίγα ή α Ηνιόχου). Τα άστρα τύπου K αποτελούν το 10% των άστρων, έχουν πορτοκαλί χρωματισμό, και θερμοκρασία 4.000 °C, όπως είναι ο Λαμπαδίας (α Ταύρου), ο Αρκτούρος (α Βούτη), και το έψιλον Ηριδανού. Τα άστρα αυτά ονομάζονται επίσης και άστρα ηλιακών κηλίδων, γιατί το φάσμα τους είναι παρόμοιο με το φάσμα που εκπέμπουν οι κηλίδες του Ήλιου. Τέλος,

τα άστρα Μπετελγκέζ (α Ωρίωνα) και Αντάρης (α Σκορπιού) είναι αντιπροσωπευτικά των κόκκινων άστρων τύπου M, με θερμοκρασία 3.000 °C περίπου και αποτελούν τη μεγάλη πλειονότητα (70%) των άστρων του Γαλαξία μας.

Όλα τα παραπάνω όμως σημαίνουν ότι η φωτεινότητα ενός άστρου έχει σχέση και με την επιφανειακή του θερμοκρασία αλλά και με την ολική του επιφάνεια. Αυτό σημαίνει ότι μπορούμε να υπολογίσουμε αρκετά εύκολα τη διάμετρο ενός άστρου μελετώντας τη φωτεινότητα και το χρώμα του. Έτσι καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι καθένας από εμάς μπορεί, με την απλή παρατήρηση και τον απλό υπολογισμό ορισμένων εύκολα μετρήσιμων χαρακτηριστικών των άστρων, να βρει πολλά περισσότερα στοιχεία για τη φύση και τη μορφή των απόμακρων αυτών φωτεινών σημείων που στολίζουν κάθε βράδυ τον ουρανό.



## 8. Κόκκινοι γίγαντες και άσπροι νάνοι

Στην πρόσκαιρη ζωή μας πάνω στη Γη τίποτε δεν φαντάζει τόσο σταθερό κι αιώνιο όσο τα άστρα στον ουρανό. Χιλιάδες χρόνια, τα ίδια άστρα, στους ίδιους αστερισμούς λαμπυρίζουν τόσο σταθερά και αξιόπιστα όσο κι ο Ήλιος. Πραγματικά, μ' ελάχιστες μόνον εξαιρέσεις, τ' άστρα που βλέπουμε κάθε βράδυ στον ουρανό έχουν παραμείνει «τα ίδια» και στην ίδια αυτή θέση επί χιλιάδες χρόνια. Κι όμως, αυτή η «αιωνιότητα» και η «σταθερότητα» των άστρων δεν είναι παρά μόνο φαινομενική, γιατί όπως και το καθετί στο Σύμπαν, τα άστρα γεννιούνται, εξελίσσονται και πεθαίνουν.

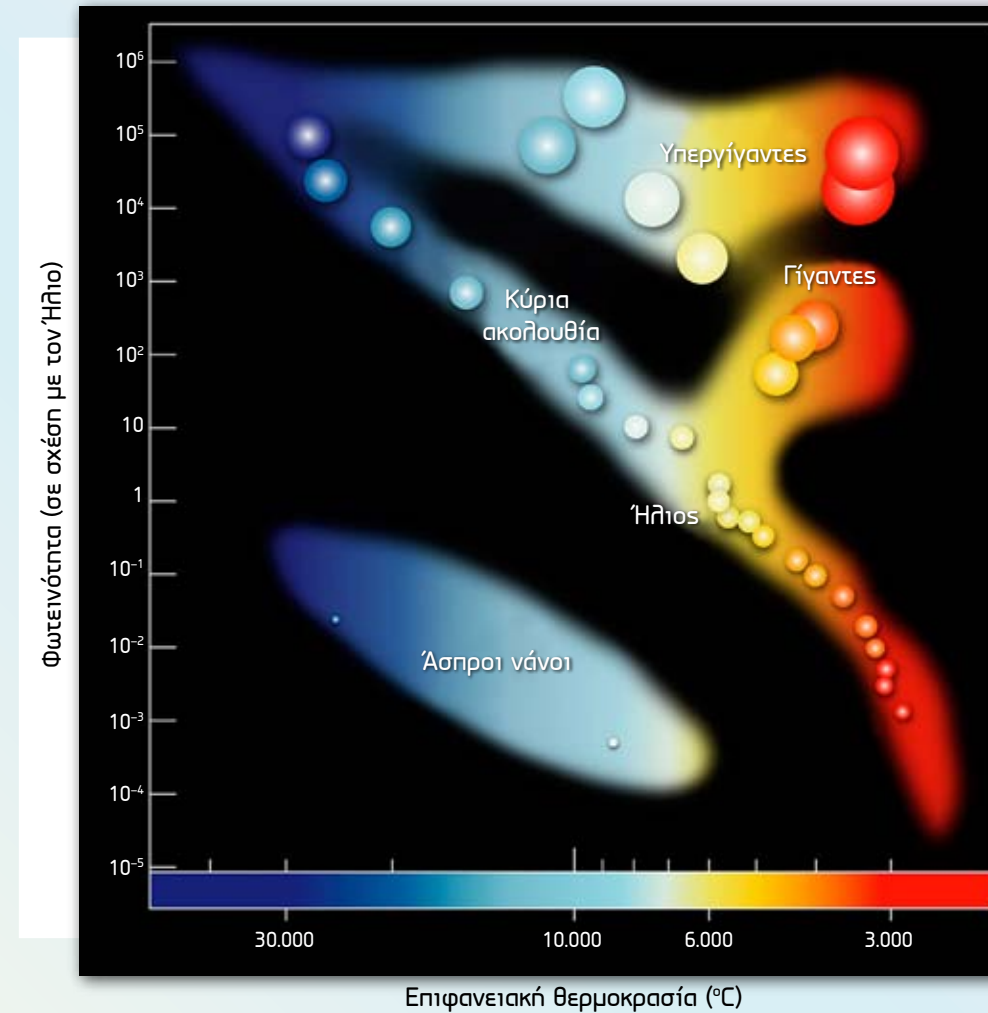
Το πιο σημαντικό στοιχείο που καθορίζει τη ζωή, την εξέλιξη και τον θάνατο ενός άστρου είναι η ποσότητα της μάζας που εμπεριέχει κατά τη στιγμή της γέννησής του. Πραγματικά, το μέγεθος του άστρου, η διάρκεια της ζωής του, ο «τρόπος» που θα πεθάνει και το αστρικό λείψανο που θα αφήσει πίσω του, τα πάντα δηλαδή, καθορίζονται από την αρχική του μάζα. Έτσι, άστρα με αρχική μάζα μικρότερη των περίπου 6-8 ηλιακών μαζών θα μετατραπούν σε **άσπρους νάνους**, άστρα με περίπου 8-30 ηλιακές μάζες θα γίνουν **αστέρες νετρονίων** και άστρα με ακόμη μεγαλύτερες μάζες θα καταλήξουν να γίνουν **μαύρες τρύπες**. Ακόμη και η εμφάνιση, δηλαδή το χρώμα των άστρων στον ουρανό εξαρτάται από τη μάζα τους. Έτσι, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, κάποια άστρα γεννιούνται με λιγοστό υδρογόνο, λάμπουν αμυδρά μ' ένα αδύνατο κοκκινωπό φως και έχουν επιφανειακή θερμοκρασία 3.000 °C. Άστρα σαν τον Ήλιο μας, είναι μεγαλύτερα και θερμότερα, ενώ λάμπουν στους 6.000 °C μ' ένα έντονο κιτρινωπό φως. Μερικά άλλα πάλη, μάζα πολλαπλάσια απ' αυτή του Ήλιου, είναι κυανόλευκα με θερμοκρασία 20.000 °C, και μπορούν να λάμπουν με την ένταση χιλιάδων ήλιων.

Όσο, όμως, κι αν ψάξουμε δεν πρόκειται να βρούμε άστρα με μάζα μικρότερη από το ένα δέκατο περίπου της μάζας του Ήλιου, αφού σ' αυτή την περίπτωση δεν θα μπορούσαν ποτέ να αποκτήσουν την ελάχιστη θερμοκρασία και πίεση που απαιτείται για την έναρξη των θερμοπυρηνικών αντιδράσεων σύντηξης στο εσωτερικό τους. Ούτε πρόκειται όμως να βρούμε και άστρα με μάζα μεγαλύτερη των περίπου 120 ηλιακών μαζών (με

κάποιες εξαιρέσεις σε ορισμένες ειδικές περιπτώσεις), γιατί πολύ απλά η πίεση της ισχυρότατης ακτινοβολίας που θα εξέπεμπαν θα ήταν μεγαλύτερη από τη βαρυτική τους έλξη, με αποτέλεσμα να μην μπορούν καν να σχηματισθούν.

Κάθε άστρο «ενηλικιώνεται» όταν η πίεση της βαρύτητας των εξωτερικών του στρωμάτων εξισορροπείται με την πίεση της ακτινοβολίας και της ενέργειας που παράγεται στον πυρήνα του, μέσα από τις θερμοπυρηνικές αντιδράσεις σύντηξης που μετατρέπουν το υδρογόνο σε ήλιο. Έτσι, ένα τέτοιο άστρο θα παραμείνει σε ισορροπία όσο καιρό η «καύση» του υδρογόνου είναι η μοναδική θερμοπυρηνική αντίδραση που εκτελείται στον πυρήνα του. Η περίοδος αυτή της ωριμότητας ενός άστρου διαρκεί το μεγαλύτερο μέρος της ζωής του, και ονομάζεται από τους αστρονόμους **Κύρια Ακολουθία**. Όταν, λοιπόν, ένα νέο άστρο εισέλθει στη Κύρια Ακολουθία, ο συνολικός χρόνος που θα παραμείνει σ' αυτήν καθορίζεται από την αρχική του μάζα. Έτσι, όσο μεγαλύτερο είναι ένα άστρο, τόσο ταχύτερα καταναλώνει τα πυρηνικά του καύσιμα, τόσο μικρότερης διάρκειας είναι η παραμονή του στην Κύρια Ακολουθία (και κατά συνέπεια η συνολική διάρκεια της ζωής του), και τόσο νεότερο πεθαίνει.

Οι **κόκκινοι νάνοι**, για παράδειγμα, τα πιο πολυάριθμα άστρα του Σύμπαντος, έχουν μάζα που δεν υπερβαίνει το 50% της μάζας του Ήλιου και επιφανειακή θερμοκρασία που δεν υπερβαίνει τους 3.000-4.000 °C. Τα άστρα αυτά έχουν μόλις το ένα δεκάκις χιλιοστό της λαμπρότητας του Ήλιου και είναι τόσο αμυδρά, ώστε κανένα τους δεν φαίνεται



Το διάγραμμα Hertzsprung-Russell, στο οποίο απεικονίζεται η επιφανειακή θερμοκρασία των άστρων σε σχέση με τη φωτεινότητά τους, αποτελεί σημαντικό εργαλείο για τους αστρονόμους, όπως περίπου ο περιοδικός πίνακας των στοιχείων για τους χημικούς (ESO).

από τη Γη χωρίς τη βοήθεια τηλεσκοπίου. Παρόλη όμως την αμυδρότητα και την απλότητά τους, οι κόκκινοι νάνοι είναι οι πραγματικοί μαθουσάδες του Διαστήματος, αφού οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις στον πυρήνα τους εκτελούνται τόσο αργά, ώστε οι μικρότεροι απ' αυτούς θα συνεχίσουν να «καίνε» το καύσιμο υδρογόνο τους ακόμη και για

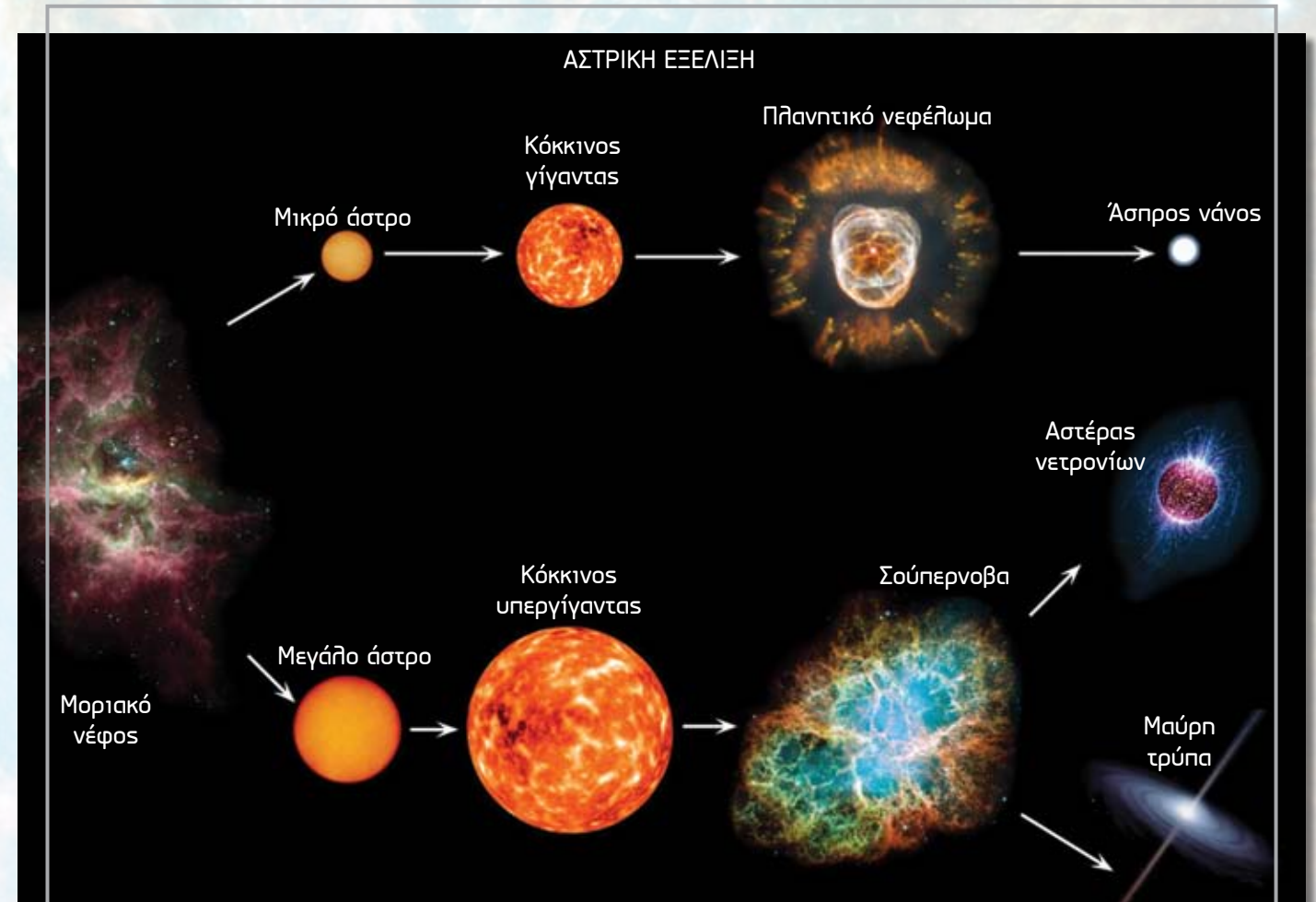
εκατοντάδες δισεκατομμύρια χρόνια. Με τη βοήθεια προσομοιώσεων σε υπολογιστές, οι αστρονόμοι θεωρούν ότι οι κόκκινοι νάνοι στα τελευταία στάδια της ζωής τους θα εξελιχθούν αρχικά σε μπηλε και αργότερα σε λευκούς νάνους, προτού αποβάλλουν όλη τους τη θερμότητα και μετατραπούν σε έναν παγωμένο μαύρο νάνο. Αντίθετα, οι

τεράστιοι **γαλάξιοι γίγαντες** είναι άστρα πλούσια σε υλικά και γι' αυτό ιδιαίτερα σπάταλα, καθώς οι θερμοπυρηνικές τους αντιδράσεις εκτελούνται μ' έναν ταχύτατο ρυθμό, με αποτέλεσμα να ακτινοβολούν τεράστιες ποσότητες ενέργειας μέσα σε λίγο χρόνο. Γι' αυτό άλλωστε και η ζωή τους δεν πρόκειται να διαρκέσει πολύ. Για παράδειγμα, ένα άστρο με υλικά 25 ηλιακών μαζών, λάμποντας 80.000 φορές πιο έντονα απ' ό,τι ο Ήλιος και με επιφανειακή θερμοκρασία 35.000 °C, καταναλώνει τα πυρηνικά του καύσιμα τόσο γρήγορα, ώστε η παραμονή του στην Κύρια Ακολουθία δεν διαρκεί περισσότερο από 3 εκατομμύρια χρόνια. Στη συνέχεια θα εστιάσουμε την προσοχή μας στα τελευταία στάδια εξέλιξης των άστρων εκείνων που είναι παραπλήσια με τον Ήλιο, και αργότερα θα παρουσιάσουμε τα τελευταία στάδια εξέλιξης των γιγάντιων άστρων του Σύμπαντος.

Η κύρια θερμοπυρηνική αντίδραση στην καρδιά ενός άστρου, όταν αυτό διανύει το στάδιο της ωριμότητάς του στην Κύρια Ακολουθία, είναι, όπως περιγράψαμε νωρίτερα, η σύντηξη του υδρογόνου σε ήλιο. Η περίοδος όμως αυτή δεν διαρκεί για πάντα. Γιατί, όταν η περιεκτικότητα του αστρικού πυρήνα σε υδρογόνο πέσει κάτω από το 1%, η κεντρική «καύση» παύει σχεδόν ολοκληρωτικά και η «υδροστατική ισορροπία» ανάμεσα στην ίδια του τη βαρύτητα που τείνει να το συμπιωνώσει και στην εσωτερική του πίεση που τείνει να το διογκώσει, ανατρέπεται. Καθώς, λοιπόν, η βαρύτητα υπερισχύει και ο πυρήνας του άστρου αρχίζει να συστέλλεται υπό το βάρος των εξωτερικών του στρωμάτων, η θερμοκρασία στο εσωτερικό του αυξάνει όλο και πιο πολύ,

θερμαίνοντας παράλληλα το «κέλυφος» υδρογόνου που τον περιβάλλει. Έτσι, σε μικρό σχετικά χρονικό διάστημα, η θερμοκρασία στο «κέλυφος» αυτό αυξάνει τόσο πολύ, ώστε το υδρογόνο που περιέχει, αρχίζει να συντήκεται σε ήλιο. Η νέα αυτή εκροή ενέργειας αυξάνει τη φωτεινότητα του άστρου, εξαναγκάζοντας παράλληλα τα εξωτερικά του στρώματα να διογκωθούν. Εξαιτίας, όμως, της μεγάλης διαστολής των εξωτερικών του στοιβάδων, η ενέργεια που παράγεται στο εσωτερικό του άστρου, εκλύεται πλέον από πολύ μεγαλύτερη επιφάνεια απ' ό,τι προηγουμένως, με αποτέλεσμα τη μείωση της επιφανειακής του θερμοκρασίας και κατά συνέπεια τη μετατόπιση του χρώματος του άστρου προς το κόκκινο: δηλαδή τη μετατροπή του ίδιου του άστρου σε έναν **κόκκινο γίγαντα**. Αυτή περίπου τη φάση, με κάποιες διαφοροποιήσεις φυσικά ανάλογα με την ακριβή τους μάζα, θα την περάσουν όλα τα άστρα με μάζες περίπου από 0,5 έως 6-8 ηλιακές μάζες, όλα δηλαδή τα άστρα που είναι παραπλήσια με τον Ήλιο μας. Για τα άστρα αυτά, όμως, το στάδιο του κόκκινου γίγαντα είναι η αρχή του τέλους.

Όταν, λοιπόν, ένα άστρο μετατραπεί σε κόκκινο γίγαντα, ο πυρήνας του είναι ανενεργός και αποτελείται κυρίως από ήλιο, ενώ το ίδιο το άστρο έχει διογκωθεί ακόμη και 100 φορές σε σχέση με το αρχικό του μέγεθος. Σ' αυτό το στάδιο οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις του υδρογόνου έχουν περιορισθεί, όπως είπαμε, μόνο στο κέλυφος των στρωμάτων που περιβάλλουν τον αστρικό πυρήνα. Εντέλει, όμως, η συνεχιζόμενη συστολή του πυρήνα αυξάνει τη θερμοκρασία του συνεχώς. Έτσι, όταν η κεντρική αυτή θερμοκρασία φτάσει



Σχηματική αναπαράσταση των διαφορετικών σταδίων της αστρικής εξέλιξης, ανάλογα με τη μάζα του κάθε άστρου.

τους 100.000.000 °C, τα άτομα του ηλίου «πιάνουν φωτιά». Αρχίζουν δηλαδή οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις που μετατρέπουν το ήλιο του αστρικού πυρήνα σε άνθρακα, μια διαδικασία κατά την οποία συντίθενται παράλληλα και πυρήνες οξυγόνου. Στην πραγματικότητα, αυτό το τελευταίο στάδιο, στην περίπτωση των άστρων με μάζα μικρότερη απ' αυτήν των περίπου 2 ηλιακών μα-

ζών, είναι πιο πολύπλοκο απ' όσο μόλις περιγράψαμε. Υπενθυμίζουμε κατ' αρχάς, ότι εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στο εσωτερικό των άστρων, τα ηλεκτρόνια έχουν αποχωριστεί πλήρως απ' τους ατομικούς τους πυρήνες. Πολύ περισσότερο, όμως, οι τεράστιες πιέσεις που επικρατούν τώρα στο εσωτερικό του αστρικού πυρήνα, έχουν μετατρέψει την ύλη που

εμπεριέχει σε μια **εκφυλισμένη**, όπως ονομάζεται, κατάσταση, η οποία «απαγορεύει» στα ελεύθερα ηλεκτρόνια να πλησιάσουν το ένα το άλλο, περισσότερο απ' όσο τους το «επιτρέπει» η **απαγορευτική αρχή του Pauli**, ένα από τα βασικά αξιώματα της Κβαντικής Φυσικής. Έτσι, το σύννεφο αυτό των ηλεκτρονίων δεν μπορεί να συμπιεσθεί και να περιορισθεί πέρα από έναν ορισμένο όγκο. Γι' αυτό και τα ελεύθερα, «εκφυλισμένα» ηλεκτρόνια εξασκούν μια ισχυρότατη πίεση, που αντιστέκεται σε οποιαδήποτε περαιτέρω συμπίεση του αστρικού πυρήνα, γεγονός που επηρεάζει δραματικά τον τρόπο με τον οποίο παράγεται ενέργεια στο εσωτερικό του.



Ο Αυστριακός φυσικός Wolfgang Pauli (1900–1958).

Σε κάθε αστρικό πυρήνα, ο οποίος δεν έχει ακόμη προλάβει να «εκφυλισθεί», κάθε νέα αύξηση της θερμοκρασίας που προκαλείται από τη βαρυτική συστολή του, προσδίδει μεγαλύτερη κινητική ενέργεια στα σωματίδια που εμπεριέχει, με αποτέλεσμα την αύξηση της εσωτερικής του πίεσης. Αυτή, όμως, με τη σειρά της εξαναγκάζει τον πυρήνα να διασταθεί, έστω και λίγο, με αποτέλεσμα την επακόλουθη μείωση της θερμοκρασίας του και κατά συνέπεια του ρυθμού με τον οποίο εκτελούνται οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις στο εσωτερικό του. Όταν, όμως, ο αστρικός πυρήνας «εκφυλίζεται» από τις τεράστιες πιέσεις που προαναφέραμε, δεν μπορεί να διασταθεί, γι' αυτό και η θερμοκρασία του, όχι μόνο δεν μπορεί να μειωθεί, αλλά αντίθετα αυξάνεται συνεχώς. Η συνεχιζόμενη, όμως, αύξηση της θερμοκρασίας του επιταχύνει όλο και περισσότερο τον ρυθμό καύσης του ηλίου στον αστρικό πυρήνα, με αποτέλεσμα να εκλύεται όλο και περισσότερη ενέργεια,

που με τη σειρά της αυξάνει τη θερμοκρασία του πυρήνα ακόμη πιο πολύ κ.ο.κ., οδηγώντας εντέλει σε μια πραγματικά ανεξέλεγκτη κατάσταση.

Σε λίγες μόνο ώρες η θερμοκρασία στον πυρήνα αυξάνεται σε εκατοντάδες εκατομμύρια °C, γεγονός που προκαλεί την εκρηκτική απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας, σε μια **έκλαμψη ηλίου**, όπως ονομάζεται, στη διάρκεια της οποίας απελευθερώνεται όση ενέργεια θα απελευθερώσε ο Ήλιος σε 200 εκατομμύρια χρόνια! Όλη αυτή η τεράστια ποσότητα ενέργειας που απελευθερώνεται, χρησιμοποιείται για να «επαναφέρει» τον «εκφυλισμένο» πυρήνα στην πρότερη, «μη εκφυλισμένη» του κατάσταση. Ο πυρήνας τότε διαστέλλεται ξαφνικά και η θερμοκρασία του μειώνεται τόσο πολύ, που οι πυρηνικές αντιδράσεις στο περιβάλλον κέλυφος υδρογόνου σχεδόν σβήνουν. Η ραγδαία, όμως, μείωση της

απελευθέρωσης ενέργειας στο εσωτερικό του άστρου, μειώνει σημαντικά τόσο την προηγούμενα διογκωμένη του διάμετρο, όσο και τη φωτεινότητά του.

Με την ολοκλήρωση του σταδίου που μόλις περιγράψαμε, το ήλιο στον πυρήνα του άστρου έχει πλήρως μετατραπεί σε άνθρακα και οξυγόνο και οι πυρηνικές αντιδράσεις εκεί σβήνουν. Ο αστρικός πυρήνας αρχίζει τότε να συστέλλεται ξανά, αυξάνοντας εκ νέου τη θερμοκρασία του, η οποία όμως δεν θα φτάσει ποτέ αυτή τη φορά στα επίπεδα που απαιτούνται για την πυρηνική καύση του άνθρακα ή του οξυγόνου. Αυτή η νέα συμπίεση του πυρήνα αυξάνει ακόμη περισσότερο τη θερμοκρασία στη στοιβάδα ηλίου που τον περιβάλλει, ενώ, ανάλογα με την αρχική μάζα του άστρου, το ήλιο που εμπεριέχεται σ' αυτήν θα αρχίσει κι αυτό να συντήκεται, απελευθερώνοντας ακόμη περισσότερη ενέργεια και θερμότητα, δίνοντας έτσι το έναυσμα για την έναρξη πυρηνικών αντιδράσεων σύντηξης της αμέσως επόμενης στοιβάδας, που εμπεριέχει υδρογόνο. Με τη νέα αυτή έκλυση ενέργειας το άστρο μετατρέπεται εκ νέου σε κόκκινο γίγαντα, την ίδια στιγμή που οι πυρηνικές αντιδράσεις συσσωρεύουν όλο και περισσότερο άνθρακα στον πυρήνα του. Ακριβώς για τους ίδιους λόγους που περιγράψαμε κατά την πρώτη μετατροπή του άστρου σε κόκκινο γίγαντα, ο αστρικός πυρήνας «εκφυλίζεται» ξανά, ενώ όσο περισσότερο αυξάνει η μάζα του από τη συσσώρευση άνθρακα τόσο πυκνότερος αλλά και τόσο μικρότερος γίνεται.

Καθόλη τη διάρκεια της ζωής τους όλα τα άστρα,

από τα πιο μικρά έως τα πιο μεγάλα, χάνουν συνεχώς μάζα, εκτινάσσοντας φορτισμένα σωματίδια, όπως συμβαίνει με τον Ήλιο μας και τον ηλιακό άνεμο. Αυτή όμως η απώλεια μάζας αυξάνεται στο στάδιο του κόκκινου γίγαντα, ενώ στη διάρκεια της καύσης του ηλίου στη στοιβάδα που περιβάλλει τον πυρήνα του, κορυφώνεται, και το άστρο τότε «αποσταθεροποιείται» εντελώς. Η βαρυτική δύναμη του άστρου δεν είναι πλέον ικανή να συγκρατήσει το μεγαλύτερο μέρος του εξωτερικού του περιβλήματος, το οποίο εκτινάσσεται στο Διάστημα, σχηματίζοντας ένα διαστελλόμενο νέφος αερίων. Οι αστρονόμοι των περασμένων αιώνων, με τα μικρά τους τηλεσκόπια νόμιζαν ότι τα αντικείμενα αυτά έμοιαζαν με πλανήτες, γι' αυτό και τα ονόμασαν **πλανητικά νεφελώματα**. Τα διαστελλόμενα αέρια των πλανητικών νεφελωμάτων περιλαμβάνουν σημαντικό μέρος της αρχικής μάζας ενός άστρου, και καθώς αποχωρίζονται απ' αυτό, αφήνουν πίσω τους, αποκαλύπτοντάς τον συγχρόνως, τον γυμνό, υπερθερμασμένο και «εκφυλισμένο» πυρήνα του: έναν **άσπρο νάνο**. Παρ' όλο όμως που ένας άσπρος νάνος έχει πάψει πια να παράγει ενέργεια, αφού οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις στο εσωτερικό του έχουν πλέον σταματήσει, η επιφανειακή του θερμοκρασία φτάνει τους 150.000 °C, γι' αυτό και εκπέμπει τεράστιες ποσότητες υπεριώδους ακτινοβολίας, οι οποίες «διεγείρουν» τα διαστελλόμενα αέρια του πλανητικού νεφελώματος και τα κάνουν να λάμπουν. Το αρχικό μας δηλαδή άστρο έχει πλέον μετατραπεί σε μία υπέρπυκνη σφαίρα από άνθρακα και οξυγόνο, δηλαδή τη «στάχτη» των θερμοπυρηνικών αντιδράσεων του ηλίου, στο μέγεθος της Γης μας, που όμως περικλείει

ακόμη και 200.000 φορές περισσότερα υλικά απ' αυτά που συνθέτουν τον πλανήτη μας.

Από εδώ και στο εξής ο άσπρος νάνος θα συνεχίσει να αποβάλλει τη θερμότητά του στο Διάστημα και να ψύχεται συνεχώς, μέχρις ότου, δεκάδες δισεκατομμύρια χρόνια αργότερα, δεν θα ακτινοβολεί πλέον καθόλου και θα έχει μετατραπεί σ' έναν κρυστάλλινο, άψυχο, **μαύρο νάνο**. Στις προσπάθειες των αστροφυσικών να διευρύνουν τις γνώσεις τους για τους άσπρους νάνους, σημαντικότερη ήταν η προσφορά του Ινδού αστροφυσικού **Subrahmanyam Chandrasekhar** (1910-1995), ο οποίος, με τη βοήθεια της κβαντομηχανικής και της θεωρίας της Σχετικότητας, υπολόγισε ότι το μέγιστο όριο της μάζας ενός άσπρου νάνου δεν μπορεί να υπερβεί τις 1,4 ηλιακές μάζες. Το όριο αυτό ονομάζεται **όριο Chandrasekhar** και για την ανακάλυψή του αυτή ο μεγάλος Ινδός αστροφυσικός τιμήθηκε με το Νόμπελ Φυσικής, το 1983.

Κάπως έτσι, λοιπόν, θα είναι και τα τελευταία στάδια εξέλιξης του δικού μας άστρου, του Ήλιου. Όπως υπολογίζεται, η αρχή του τέλους για το άστρο μας θα έρθει σε περίπου 5-7 δισεκατομμύρια χρόνια, όταν ο Ήλιος εισέλθει στη φάση της μετατροπής του σε κόκκινο γίγαντα. Ο Ερμής θα αφανισθεί σίγουρα στο εσωτερικό του διαστελλόμενου κόκκινου γίγαντα Ήλιου, ενώ η μοίρα της Αφροδίτης είναι περισσότερο αβέβαιη. Επειδή, όμως, ο Ήλιος θα χάνει όλο και περισσότερη μάζα, η βαρυτική του έλξη θα ελαττώνεται αντιστοίχως, με αποτέλεσμα τα διάφορα ουράνια σώματα του Ηλιακού μας Συστήματος να «μεταναστεύουν» σε όλο και μεγαλύτερες τροχιές. Ορι-

σμένοι αστροφυσικοί εικάζουν, για παράδειγμα, ότι η Αφροδίτη ίσως και να μεταναστεύσει σε τροχιά αντίστοιχη μ' αυτή στην οποία βρίσκεται τώρα ο πλανήτης μας, ενώ η Γη ακόμη πιο μακριά, ίσως στην τροχιά όπου τώρα κινείται ο Άρνης. Αυτό όμως δεν πρόκειται να τη γλιτώσει, αφού η θερμοκρασία στην επιφάνειά της θα υπερβαίνει τους 1.200 °C. Οι δραματικές αυτές αλλαγές του Ήλιου θα προκαλέσουν στον πλανήτη μας ένα ανεξέλεγκτο φαινόμενο του θερμοκηπίου, που θα οδηγήσει στην πλήρη εξάτμιση των ωκεανών, την ίδια στιγμή που ο διογκωμένος Ήλιος μας θα κοιτάζει από ψηλά ατάραχος τη μετατροπή του αλλοτινού γαλαξοπράσινου πλανήτη μας σε μία καυτή κόλλαση. Αργότερα, όμως, εξαιτίας των παθηρροϊκών αλληλεπιδράσεων του πλανήτη μας με τις εξωτερικές στοιβάδες του Ήλιου, η τροχιά του θα μειωθεί εκ νέου, και το πιθανότερο είναι ότι θα χαθεί πλέον οριστικά στο εσωτερικό του. Εντέλει, όμως, στους τελευταίους «σπασμούς» της ζωής του, ο Ήλιος θα εκτινάξει τα εξωτερικά του αέρια στρώματα στο Διάστημα, σχηματίζοντας έτσι ένα διαστελλόμενο πλανητικό νεφέλωμα, στο κέντρο του οποίου θα λαμπυρίζει ο πυρήνας του, που θα έχει συμπιεστεί σε έναν άσπρο νάνο.

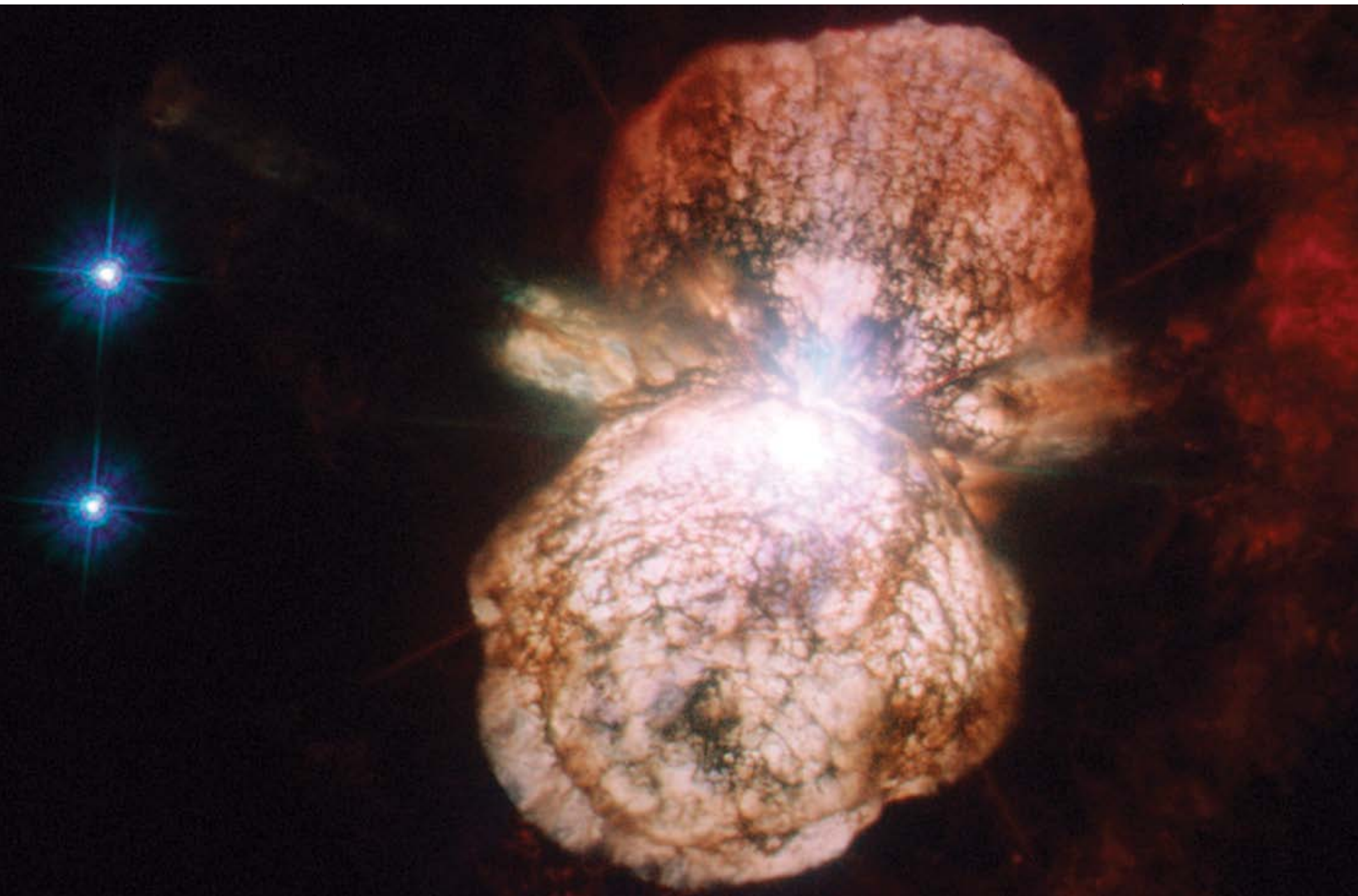
Τα τελευταία χρόνια τα διαστημικά μας τηλεσκόπια, όπως το **Hubble**, που βλέπει κυρίως στο ορατό, το **Spitzer**, που καταγράφει την υπέρυθη ακτινοβολία, και το **Chandra** που ανιχνεύει τις ακτίνες Χ, έχουν απαθανάτισει μερικά από τα πιο πολύπλοκα και πανέμορφα πλανητικά νεφέλωματα, αποκαλύπτοντάς μας συγχρόνως τα μυστικά του θανάτου άστρων σαν τον Ήλιο. Οι φωτογραφίες απ' τα τηλεσκόπια αυτά είναι μία πραγματική

πανδαισία χρωμάτων και πολύπλοκων σχημάτων, που άνετα θα μπορούσε κάποιος να τις χαρακτηρίσει ως αντικείμενα έκθεσης μιας γκαλερί-μοντέρνας τέχνης. Το **Νεφέλωμα Έλικας**, για παράδειγμα, είναι ένα από τα μεγαλύτερα και πλησιέστερα σε μας πλανητικά νεφέλωματα, περίπου 650 έτη φωτός, στον αστερισμό του Υδροχόου, ενώ το Δακτυλιοειδές Νεφέλωμα, στον αστερισμό της Λύρας, βρίσκεται σε απόσταση 1.500 ετών φωτός από εμάς. Στον αστερισμό της Αλπεούς, από την άλλη, βρίσκεται το **Νεφέλωμα Αιτήρας** (M-27), το οποίο παρατηρήθηκε για πρώτη φορά τον Ιούλιο του 1764 και υπολογίζεται ότι βρίσκεται σε απόσταση 900 περίπου ετών φωτός. Στον αστερισμό του Αετού βρίσκεται ένα πραγματικά παράξενο ουράνιο αντικείμενο που λάμπει σαν ένα γιγάντιο απόκοσμο «μάτι». Πρόκειται για το πλανητικό νεφέλωμα **NGC 6751**, σε απόσταση 6.500 ετών φωτός από τη Γη, και με έκταση 600 φορές μεγαλύτερη από το Ηλιακό μας Σύστημα.

Αυτά είναι ελάχιστα μόνο από τα εντυπωσιακά πλανητικά νεφέλωματα του Γαλαξία μας, που κρύβουν μέσα τους τη μοίρα όλων των άστρων σαν τον Ήλιο. Τον Ήλιο που, όταν κι αυτός μετατραπεί σε άσπρο νάνο, το λευκό του φως θα φωτίζει αχνά τις «καμένες» επιφάνειες των πλανητών που διασώθηκαν από τον γιγαντισμό του. Έτσι αργά, αλλιά σταθερά και μοιραία, καθώς οι τελευταίες σταγόνες θερμότητας τον εγκαταλείψουν, ο Ήλιος θα φτάσει στο τέλος της ζωής του σαν ένας παγωμένος μαύρος νάνος, χαμένος μέσα στο απέραντο Σύμπαν, χωρίς ν' αφήσει πίσω του τίποτε που να θυμίζει τη σημερινή του μεγαλοπρέπεια.



Το Νεφέλωμα Έλικας (ESO).



## 9. Αστρικές εκρήξεις και αστρικά λείψανα

Κανόνας απαράβατος είναι ότι καθένα από τα άστρα που λάμπουν στον ουρανό κάποια στιγμή θα πεθάνει. Τα άστρα πεθαίνουν ακριβώς γιατί λάμπουν, και ο τρόπος που θα πεθάνουν εξαρτάται από την αρχική τους μάζα. Ο θάνατος, όμως, κάποιων άστρων είναι ένας πραγματικά θεαματικός θάνατος. Στο προηγούμενο κεφάλαιο, αναφέραμε τον τρόπο με τον οποίο τελειώνουν τη ζωή τους άστρα σαν τον Ήλιο, εκτινάσσοντας τις εξωτερικές τους στοιβάδες στο Διάστημα, την ίδια στιγμή που ο πυρήνας τους καταρρέει σ' έναν άσπρο νάνο, με μάζα που δεν υπερβαίνει τις 1,4 ηλιακές μάζες. Και όμως, υπάρχουν περιπτώσεις που κι αυτό ακόμη το όριο Chandrasekhar δεν είναι αρκετό για να «γλιτώσει» πολλούς από τους άσπρους νάνους του Σύμπαντος από έναν ακόμη πιο θεαματικό, αλλά πολύ πιο βίαιο θάνατο.



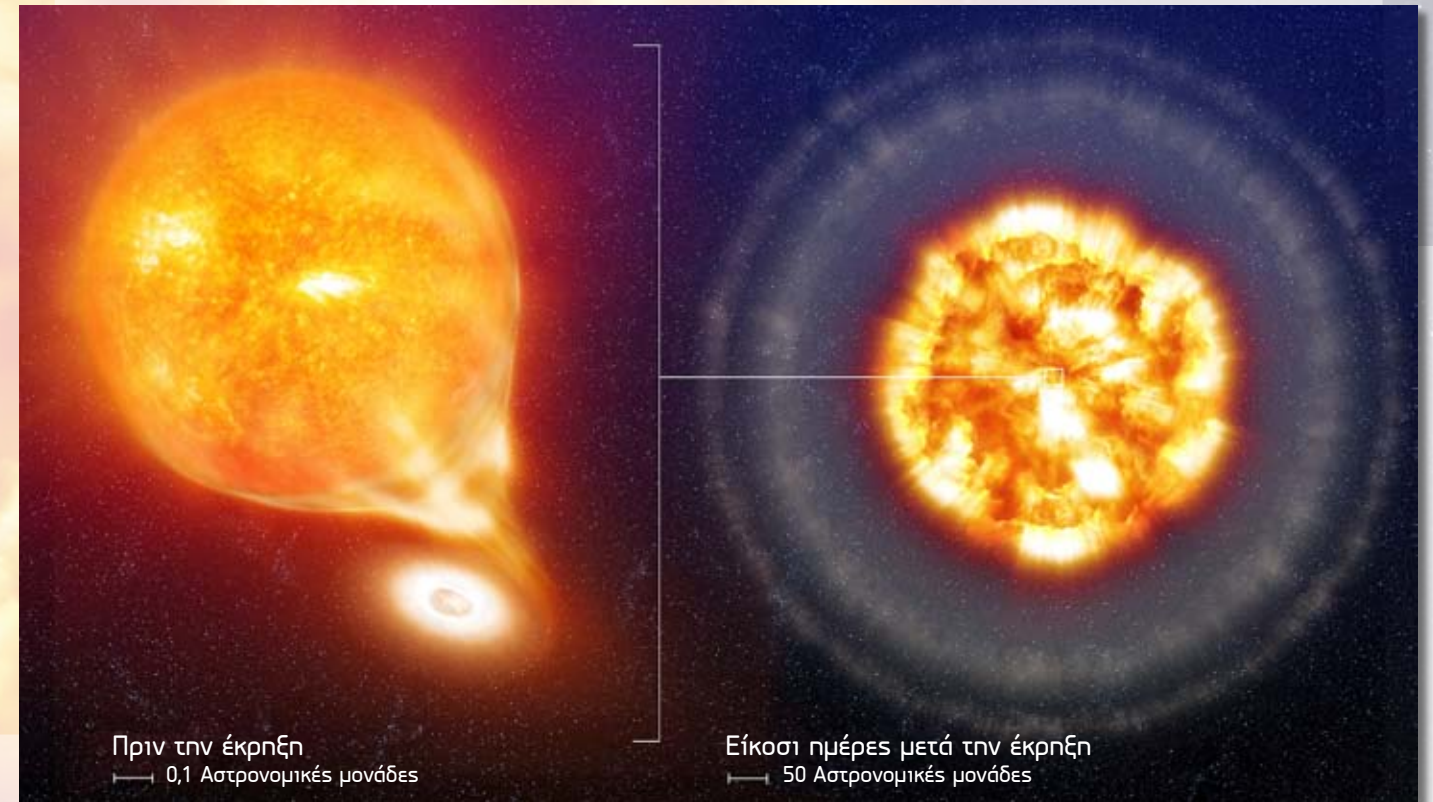
Γιατί, παρόλο που όπως αναφέραμε δεν είναι δυνατό να σχηματισθεί ένας άσπρος νάνος με μάζα μεγαλύτερη απ' το όριο Chandrasekhar, κάτω από ορισμένες περιπτώσεις είναι δυνατόν η μάζα ενός άσπρου νάνου να αυξηθεί, προσεγγίζοντας τόσο πολύ ή και υπερβαίνοντας εντέλει αυτό το όριο, υπό την προϋπόθεση ότι ο άσπρος νάνος αποτελεί μέρος ενός διπλού αστρικού συστήματος, όπου το άστρο-συνοδός του είναι ένας κόκκινος γίγαντας. Σ' αυτή την περίπτωση το ισχυρό βαρυτικό πεδίο του υπέρπυκνου άσπρου νάνου έλκει υδρογόνο από τις εξωτερικές στοιβάδες του κόκκινου γίγαντα, με αποτέλεσμα τη σπειροειδή ροή του από τον γίγαντα στον νάνο, σχηματίζοντας γύρω του έναν δακτύλιο στροβιλιζόμενων υλικών, που ονομάζεται **δίσκος επικάθισης**. Καθώς η στροβιλιζόμενη ύλη στον δίσκο επικάθισης επιβραδύνεται εξαιτίας της τριβής, προσκρούει εντέλει στην επιφάνεια του άσπρου νάνου, όπου και συσσωρεύεται σε αλληλάλληλα στρώματα, αυξάνοντας έτσι τη μάζα του συνεχώς. Εάν η συνεχής προσθήκη αυτής της ύλης «σπρώξει» τον άσπρο νάνο υπερβολικά κοντά ή και πάνω από το όριο Chandrasekhar, η πυκνότητα και η θερμοκρασία στον πυρήνα του άσπρου νάνου αυξάνουν σε τόσο ακραία επίπεδα, ώστε ο άνθρακας που εμπεριέχει αρχίζει να συντήκεται με εκρηκτικό ρυθμό, γεγονός που μετατρέπει τον άσπρο νάνο σ' έναν τεράστιο πυρηνικό αντιδραστήρα εκτός ελέγχου. Ο άσπρος νάνος εκρήγνυται τότε με πρωτοφανή βιαιότητα και καταστρέφεται ολοκληρωτικά, εκτινάσσοντας στο Διάστημα τα βαρύτερα στοιχεία που η περίοδος της εκρηκτικής πυρηνοσύνθεσης σχημάτισε στο εσωτερικό του, με ταχύτητες που μπορεί να φτάνουν ακόμη και τα 20.000 km/s.

Αυτού του είδους οι εξαιρετικά βίαιες αστρικές εκρήξεις, που εμπλουτίζουν τον διαστρικό χώρο με όλα τα βαρύτερα από το ήλιο χημικά στοιχεία, ονομάζονται **σουπερνόβα τύπου Ia**, και η μέγιστη φωτεινότητά τους μπορεί να υπερβεί κι αυτήν ακόμη τη φωτεινότητα ολόκληρου του γαλαξία που τις φιλοξενεί. Χαρακτηριστικό παράδειγμα σουπερνόβα τύπου Ia είναι εκείνη που παρατήρησε ο Δανός αστρονόμος **Tycho Brahe** (1546-1601) στις 11 Μαρτίου 1572 στον αστερισμό της Κασσιόπης.



Ο Δανός αστρονόμος Tycho Brahe.

Μπορεί όμως να συμβεί και κάτι άλλο. Εάν η εναπόθεση της ύλης από το άστρο-συνοδό στον άσπρο νάνο είναι πιο «συγκρατημένη» από την προηγούμενη περίπτωση, έτσι ώστε η μάζα του να μην προσεγγίσει «επικίνδυνα» το όριο Chandrasekhar, το υδρογόνο, που συσσωρεύεται στον άσπρο νάνο, συμπιέζεται και θερμαίνεται σταδιακά. Εάν, όμως, η θερμοκρασία του φτάσει στο όριο που απαιτείται για την έναρξη θερμοπυρηνικών αντιδράσεων σύντηξης υδρογόνου, ο



Καλλιτεχνική αναπαράσταση έκρηξης σουπερνόβα τύπου Ia. Πριν την έκρηξη ο άσπρος νάνος έλκει ύλη από τον κόκκινο γίγαντα-συνοδό του. Ο κόκκινος γίγαντας έχει διάμετρο περίπου 100 φορές μεγαλύτερη απ' αυτήν του Ήλιου, ενώ ο άσπρος νάνος είναι περίπου 100 φορές μικρότερος από τον Ήλιο (ESO).

άσπρος νάνος ξαφνικά «αναφλέγεται» και γίνεται λαμπρότερος κατά 10.000 φορές, σε μια έκρηξη **καινοφανούς** ή **νόβα**. Είναι μάλιστα δυνατό να υπάρξουν πολλαπλές τέτοιες εκρήξεις, καθώς ύλη από το άστρο-συνοδό συνεχίζει να εναποτίθεται στην επιφάνεια του λευκού νάνου και η όλη διαδικασία ξεκινά από την αρχή. Η ονομασία αυτών των εκρήξεων, καθώς και των κατά πολύ ισχυρότερων εκρήξεων σουπερνόβα, προέρχεται

από το λατινικό **stella nova**, που σημαίνει «νέο άστρο», και αυτό γιατί η λάμψη μιας τέτοιας έκρηξης που εμφανιζόταν ξαφνικά στον ουρανό, φάνταζε στους αστρονόμους της εποχής του Brahe ότι αντιστοιχούσε στη γέννηση ενός νέου (nova) άστρου.

Εξίσου εντυπωσιακός είναι ο θάνατος των γιγάντιων άστρων του Σύμπαντος, δηλαδή των άστρων

εκείνων με μάζα τουλάχιστον οκταπλάσια απ' αυτήν του Ήλιου. Στο τέλος της ζωής τους τα άστρα αυτά διαμελίζονται σε τιτάνιες αστρικές εκρήξεις **σουπερνόβα (τύπου II**, όπως ονομάζονται), την ίδια στιγμή που ο αστρικός τους πυρήνας, ανάλογα με τη μάζα που περιλαμβάνει, συμπιέζεται σ' έναν υπέρπυκνο **αστέρα νετρονίων** ή καταρρέει σε μια **μαύρη τρύπα**. Ανάλογα με τη μάζα τους, μόλις τα άστρα αυτά καταναλώσουν το καύσιμο υδρογόνο τους σε μερικές δεκάδες εκατομμύρια χρόνια το πολύ, μετατρέπονται σε **κόκκινους υπεργίγαντες**. Όπως, μάλιστα, συμβαίνει και με τους μικρότερους κόκκινους γίγαντες, όταν όλο το υδρογόνο στον πυρήνα τους μετατραπεί σε ήλιο, ο πυρήνας τους συστέλλεται και η θερμοκρασία του αυξάνεται. Αυτή τη φορά, όμως, η πολύ μεγαλύτερη μάζα και εσωτερική τους θερμοκρασία, τους επιτρέπει να συντήκουν όλο και βαρύτερα στοιχεία. Στα γιγάντια, δηλαδή, άστρα του Σύμπαντος, οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις στο κέντρο τους συνεχίζονται, με αποτέλεσμα την επανάληψη του ίδιου κύκλου: πυρηνική σύντηξη των υλικών του πυρήνα, συστολή του πυρήνα λόγω βαρύτητας, αύξηση της θερμοκρασίας, σύντηξη των βαρύτερων υλικών του πυρήνα, που σχηματίστηκαν κατά το προηγούμενο στάδιο σύντηξης κ.ο.κ.. Με άλλα λόγια, στη συνεχή τους πάλη ενάντια στη βαρύτητα, τ' άστρα αυτά «καίνε» διαδοχικά τη «στάχτη» τους, τα προϊόντα δηλαδή της καύσης των προηγούμενων θερμοπυρηνικών αντιδράσεων, ενώ κάθε νέα καύση διαρκεί λιγότερο από την προηγούμενη.

Αρχικά, τα άστρα αυτά μεταστοιχειώνουν, όπως

είπαμε, το πιο άφθονο από τα χημικά τους στοιχεία, το υδρογόνο, σε ήλιο. Στη συνέχεια το ήλιο μετατρέπεται σε άνθρακα και οξυγόνο, ο άνθρακας σε νέον και μαγνήσιο κ.ο.κ., μέχρις ότου το πυρίτιο και το θείο που έχει σχηματισθεί στον πυρήνα τους αρχίσει να μετατρέπεται σε σίδηρο, που είναι το πιο σταθερό στοιχείο. Στο προηγούμενο κεφάλαιο, κατά το οποίο περιγράψαμε τα τελευταία στάδια εξέλιξης των άστρων που μετατρέπονται σε κόκκινους γίγαντες και εντέλει σε άσπρους νάνους, είχαμε αναφέρει ότι η αύξηση της θερμοκρασίας στον πυρήνα τους δίνει το έναυσμα για την έναρξη πυρηνικών αντιδράσεων σύντηξης στη στοιβάδα των υλικών που τον περιβάλλει. Τηρουμένων των αναλογιών, το ίδιο περίπου συμβαίνει και εδώ, μόνο που σ' αυτή την περίπτωση το άστρο αποκτά μια δομή που μοιάζει μ' αυτήν του κρεμμυδιού. Ο σιδερένιος πυρήνας του, δηλαδή, περιβάλλεται από αλληπαλά αλληλεστοιβάδες, στις οποίες πραγματοποιούνται διαφορετικές καύσεις: στην εσωτάτη απ' αυτές, το πυρίτιο συντήκεται σε σίδηρο, στην επόμενη το μαγνήσιο συντήκεται σε πυρίτιο και θείο κ.ο.κ., μέχρι την πλησιέστερη στην επιφάνειά του στοιβάδα, όπου το υδρογόνο συντήκεται σε ήλιο.

Σ' ένα άστρο με υλικά 20 ηλιακών μαζών, τα αποθέματα του υδρογόνου στον πυρήνα του εξατμούνται μέσα σε 10 εκατομμύρια χρόνια, και το ήλιο σε 1 εκατομμύριο χρόνια. Από εκεί κι έπειτα τα πάντα εξελίσσονται σχεδόν. Ο άνθρακας εξατμείται σε 300 χρόνια, το οξυγόνο σε λιγότερο από 1 έτος και τελικά το πυρίτιο, μέσα σε 1-2 μόνο ημέρες μεταστοιχειώνεται σε σίδηρο. Σ' αυτό το

σημείο η ήρεμη ζωή του άστρου σταματάει και η διαδικασία της μετατροπής του σε σουπερνόβα αρχίζει. Όταν στον πυρήνα ενός τέτοιου άστρου η θερμοκρασία φτάσει τα 3.000.000.000.000 °C, το πυρίτιο που έχει συγκεντρωθεί εκεί, αρχίζει να μετατρέπεται σε σίδηρο, κι έτσι μέσα σε μερικές ώρες η ποσότητα του σιδήρου στο κέντρο αρχίζει να αυξάνεται. Επειδή, όμως, η σιδερένια καρδιά του υπεργίγαντα συμπιέζεται από τη βαρύτητα των ανώτερων στρωμάτων του, η θερμοκρασία του αυξάνεται ακόμη πιο πολύ. Έτσι κάποια στιγμή η κεντρική θερμοκρασία φτάνει να είναι αρκετά υψηλή, ούτως ώστε να αρχίσει η καύση του σιδήρου. Κάτι τέτοιο όμως ανοίγει την πόρτα σε πραγματικά απόκοσμες καταστροφικές διαδικασίες. Αυτό συμβαίνει γιατί ο σίδηρος διαθέτει τον πιο σταθερό ατομικό πυρήνα, πράγμα που σημαίνει ότι όταν το χημικό αυτό στοιχείο εμπλέκεται σε πυρηνικές αντιδράσεις διάσπασης ή σύντηξης όχι μόνο δεν παράγει ενέργεια, αλλά αντίθετα την απορροφάει. Σ' αυτές, δηλαδή, τις πραγματικά ακραίες θερμοκρασίες και πιέσεις και ενώ ο σίδηρος που συσσωρεύεται στον αστρικό πυρήνα πλησιάζει όλο και περισσότερο το όριο Chandrasekhar, ο αστρικός πυρήνας συνεχίζει να συστέλλεται, μετατρεπόμενος στην ουσία σε έναν άσπρο νάνο με μάζα 1,4 φορές μεγαλύτερη απ' αυτήν του Ήλιου. Μόλις όμως υπερβεί αυτό το όριο, κι αυτή ακόμη η πίεση των εκφυλισμένων ηλεκτρονίων αδυνατεί να συγκρατήσει το βάρος του, οδηγώντας έτσι σε μια πραγματικά βίαιη ενδόρρηξη. Έτσι, καθώς ο αστρικός πυρήνας καταρρέει πλέον με ταχύτητα 70.000 km/s, ο πυρήνας θερμαίνεται σε θερμοκρασία

100.000.000.000 °C, παράγοντας τεράστιες ποσότητες φωτονίων υψηλής ενέργειας, τα οποία μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται **φωτο-αποσύνθεση**, διασπούν τον σίδηρο σε πυρήνες ηλίου και ελεύθερα νετρόνια, με αποτέλεσμα την όλο και μεγαλύτερη απορρόφηση ενέργειας από την καρδιά του άστρου. Οι ακραίες, όμως, πιέσεις, που αυξάνονται όλο και περισσότερο, εξαναγκάζουν τα ελεύθερα ηλεκτρόνια να «συχνω-νευθούν» με τα πρωτόνια των ατομικών πυρήνων, σχηματίζοντας με καταγιγιστικό ρυθμό νετρόνια και νετρίνα. Έτσι, σε χιλιοστά του δευτερολέπτου η ύλη του πυρήνα σχηματίζει μια υπέρπυκνη μάζα νετρονίων.

Σ' αυτό το στάδιο, δηλαδή, τα ηλεκτρόνια, όπως επίσης και η «εκφυλισμένη» πίεση που ασκούσαν, έχουν εξαφανισθεί. Αυτό που τώρα εμποδίζει την περαιτέρω κατάρρευση του αστρικού πυρήνα είναι η πίεση που ασκούν τα «εκφυλισμένα» νετρόνια, που κι αυτά ως υποατομικά σωματίδια «εξαναγκάζονται» να «υπακούσουν» στην Απαγορευτική Αρχή του Pauli. Η πίεση, όμως, αυτή είναι πλέον τόσο μεγάλη, ώστε ο υπέρπυκνος πυρήνας των νετρονίων σταματά την κατάρρευσή του σχεδόν ακαριαία και «στερεοποιείται» απότομα σε μια συμπαγή μάζα νετρονίων με διάμετρο 10 km και πυκνότητα αντίστοιχη μ' αυτήν ενός ατομικού πυρήνα, δηλαδή δισεκατομμύρια τόνων/cm<sup>3</sup>.

Την ίδια στιγμή, τα εξωτερικά στρώματα του άστρου, που ακόμη δεν έχουν «συνειδητοποιήσει» τι έχει συμβεί, συνεχίζουν την κατάρρευσή τους προς το κέντρο και επιταχύνονται από την

ακραία βαρυτική έλξη που υφίστανται σε τέτοιες ταχύτητες, ώστε στα ελάχιστα κλάσματα του δευτερολέπτου που απαιτούνται για να φτάσουν στην επιφάνεια του πυρήνα νετρονίων, κινούνται ήδη με ταχύτητα που υπερβαίνει τα 70.000 km/s. Καθώς, όμως, προσκρούουν ορμητικά στον συμπαγή αστρικό πυρήνα, η σφοδρότατη σύγκρουση εξαναγκάζει τα καταρρέοντα εξωτερικά στρώματα να αναπηδήσουν προς τα πίσω, την ίδια στιγμή που ένα κρουστικό κύμα ασύλληπτης ενέργειας, ο προπομπός της κολλοσιαίας αστρικής έκρηξης που επίκειται, αρχίζει να κινείται ορμητικά προς τα έξω.

Είναι πραγματικά αδύνατο, ακόμη και να φανταστεί κάποιος τις ασύλληπτες ποσότητες βαρυτικής ενέργειας που απελευθερώνονται κατά τη βαρυτική κατάρρευση του αστρικού πυρήνα σ' έναν υπέρπυκνο πυρήνα νετρονίων. Και όμως, όλη αυτή η ενέργεια που έχει μετατραπεί σε θερμότητα και που έχει αυξήσει τη θερμοκρασία του πυρήνα στους εξωπραγματικούς 100.000.000.000 °C, απελευθερώνεται σχεδόν αμέσως στο Διάστημα με τη βοήθεια των νετρίνων. Με άλλα λόγια, οι τεράστιες ποσότητες νετρίνων, που σχηματίστηκαν στον πυρήνα του άστρου από την ένωση πρωτονίων και ηλεκτρονίων εκτινάσσονται στο Διάστημα με ταχύτητα που πλησιάζει την ταχύτητα του φωτός, μεταφέροντας παράλληλα τεράστιες ποσότητες ενέργειας από την καρδιά του άστρου, αλλά και το πρώτο «μήνυμα» στο υπόλοιπο Σύμπαν του αστρικού θανάτου. Έχει υπολογισθεί ότι το 99,7% των νετρίνων που θα σχηματισθούν μ' αυτόν τον τρόπο στον πυρήνα

του άστρου, διαφεύγουν στο Διάστημα, μεταφέροντας μαζί τους και το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας του πυρήνα νετρονίων, που σε μόλις 10 δευτερόλεπτα αποβάλλει σχεδόν όλη του τη θερμότητα. Για να πάρουμε μια ιδέα του πόσο «ακραία» βίαιος αλλά και «αποδοτικός» είναι αυτός ο μηχανισμός με τον οποίο αποβάλλεται η θερμότητα του πυρήνα στο Διάστημα, υπενθυμίζουμε ότι ένας άσπρος νάνος, που αποβάλλει τη θερμότητά του μέσω της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μόνο, χρειάζεται δεκάδες δισεκατομμύρια χρόνια για να την αποβάλει πλήρως.

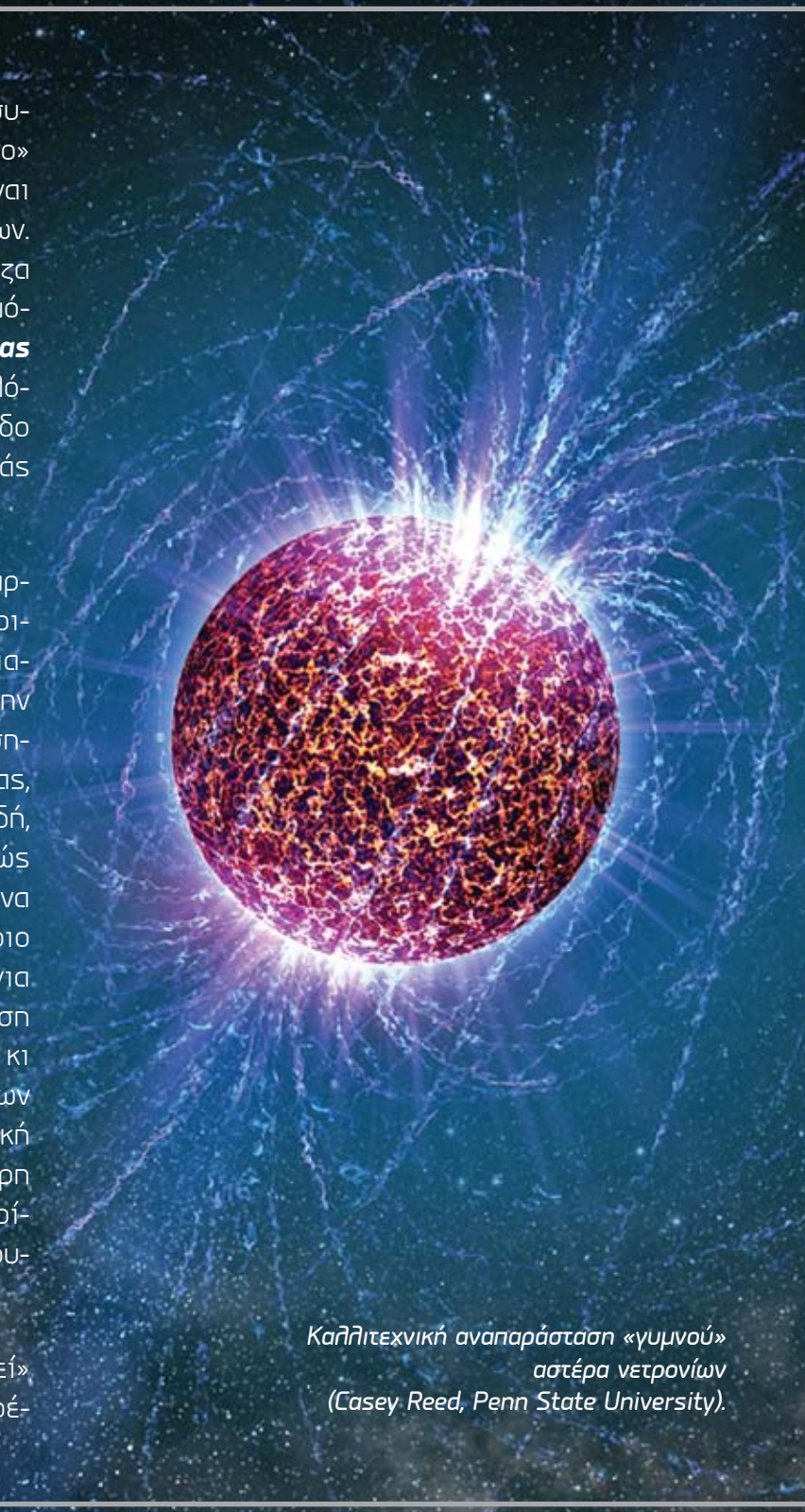
Η ενέργεια που μεταφέρεται από το υπόλοιπο 0,3% των νετρίνων, μέσω μιας διαδικασίας η οποία δεν είναι απολύτως κατανοητή, απορροφάται από το κρουστικό κύμα. Είναι τόσο ασύλληπτα μεγάλη, ώστε κυριολεκτικά διαμελίζει το μεγαλύτερο μέρος του άστρου, σε μια απίστευτης βιαιότητας έκρηξη σουπερνόβα, η οποία εκτινάσσει στο Διάστημα ολόκληρο το εξωτερικό περίβλημα του άστρου που βρίσκεται πάνω από τον πυρήνα νετρονίων, με ταχύτητες δεκάδων χιλιάδων χιλιομέτρων το δευτερόλεπτο. Παράλληλα, η βιαιότητα της έκρηξης δίνει το έναυσμα για μια νέα σειρά εκρηκτικής πυρηνικής καύσης, ικανής αυτή τη φορά να συντήξει στοιχεία βαρύτερα και από τον σίδηρο. Η λάμψη αυτών των αστρικών εκρήξεων σουπερνόβα είναι σχεδόν τόσο εκτυφλωτική όσο και αυτή των εκρήξεων σουπερνόβα τύπου Ia.

Το αρχικό άστρο έχει πλέον εξαφανισθεί. Εάν η υπέρπυκνη μάζα νετρονίων που είχε σχηματισθεί στον πυρήνα του είναι μικρότερη από περίπου 3

ηλιακές μάζες, τότε οποιαδήποτε περαιτέρω συμπίεσή του σταματά, και το αστρικό «λείψανο» που επιβιώνει της καταστροφικής έκρηξης είναι αυτός ακριβώς ο αστρικός πυρήνας νετρονίων. Με άλλα λόγια, σχηματίζεται μια συμπαγής μάζα νετρονίων, συγκεντρωμένη σε μια ακτίνα που μόλις φτάνει τα 10-20 km, δηλαδή ένας **αστέρας νετρονίων**, στο κέντρο ενός ταχύτατα διαστελλόμενου αέριου περιβλήματος, που με την πάροδο του χρόνου διαμορφώνει εκπληκτικής ομορφιάς νέφελώματα, όπως αυτό του **Καρκίνου**.

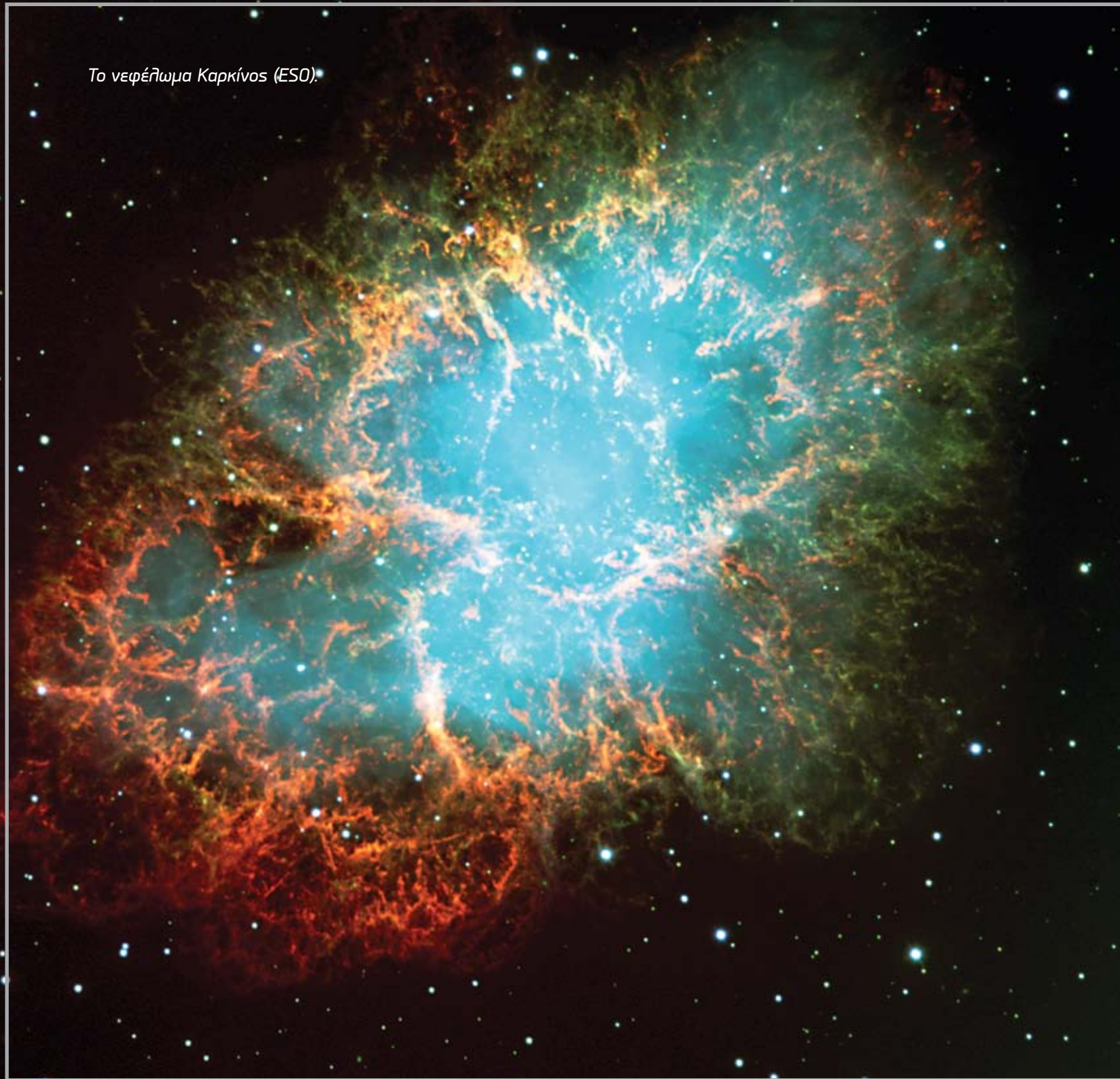
Εάν, όμως, η αρχική μάζα του άστρου είναι αρκετά μεγαλύτερη, έτσι ώστε η μάζα του αστρικού πυρήνα να υπερβαίνει τις περίπου 3 ηλιακές μάζες, τίποτε δεν μπορεί να αντισταθεί στην οριστική και τελική του κατάρρευση σ' ένα σημείο μηδενικού όγκου και άπειρης πυκνότητας, δηλαδή σε μια **μαύρη τρύπα**. Απ' όσα, δηλαδή, είπαμε ως τώρα είναι φανερό ότι, όπως ακριβώς στην περίπτωση των άσπρων νάνων υπήρχε ένα μέγιστο όριο στην επιτρεπτή τους μάζα (το όριο Chandrasehkar), το ίδιο ακριβώς ισχύει και για τους αστέρες νετρονίων. Σ' αυτή την περίπτωση όμως το συγκεκριμένο όριο, πέρα απ' το οποίο κι αυτή ακόμη η εκφυλισμένη πίεση των νετρονίων αδυνατεί να αντισταθεί στην περαιτέρω βαρυτική κατάρρευση του αστρικού πυρήνα σε μια μαύρη τρύπα, δεν έχει ακόμη υπολογισθεί με την ακρίβεια του ορίου Chandrasehkar, αλλά γνωρίζουμε ότι βρίσκεται κοντά στις 3 ηλιακές μάζες.

Κάθε νέος αστέρας νετρονίων που θα «γεννηθεί» με τον τρόπο που μόλις περιγράψαμε, περιστρέ-



Καλλιτεχνική αναπαράσταση «γυμνού» αστέρα νετρονίων (Casey Reed, Penn State University).

Το νεφέλωμα Καρκίνος (ESO).



φεται γύρω από τον άξονά του με μεγάλες ταχύτητες, συμπληρώνοντας 10-100 περιστροφές/sec, ενώ το μαγνητικό του πεδίο είναι τρισεκατομμύρια φορές ισχυρότερο από αυτό της Γης. Γι' αυτό και κάθε νεογέννητος αστέρας νετρονίων «παγιδεύει» φορτισμένα σωματίδια και τα επιταχύνει σε ταχύτητες που πλησιάζουν αυτή του φωτός, τα οποία εκτινάσσονται σε πίδακες από τους δύο μαγνητικούς του πόλους. Οι πίδακες αυτοί, με τη σειρά τους, απελευθερώνουν μεγάλες ποσότητες ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που εστιάζονται σε δύο στενές δέσμες, οι οποίες εκπέμπονται από τους μαγνητικούς του πόλους: μία προς την κατεύθυνση που δείχνει ο βόρειος μαγνητικός πόλος του άστρου και μία προς την κατεύθυνση που δείχνει ο νότιος μαγνητικός του πόλος. Στην περίπτωση που οι μαγνητικοί πόλοι του αστέρα νετρονίων δεν ευθυγραμμίζονται με τον άξονα περιστροφής του, οι κώνοι αυτοί της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπει, περιστρέφονται και αυτοί σαρώνοντας το Διάστημα, ακριβώς όπως και το περιστρεφόμενο «μάτι» ενός φάρου.

Όταν η ακτινοβολία αυτή σαρώνει στο πέρασμά της τη Γη, την αντιλαμβανόμαστε ως μία παλλόμενη πηγή ακτινοβολίας που αναβοσβήνει, γι' αυτό και οι αστρονόμοι έχουν ονομάσει αυτό το είδος του αστέρα νετρονίων **παλλόμενο αστέρι** ή **πάλσαρ**. Οι παλμοί αυτοί εντοπίζονται κυρίως σε μήκη κύματος που αντιστοιχούν σε ραδιοκύματα, ορατό φως, ακτίνες X και ακτίνες γ και είναι συγχρονισμένοι με την περιστροφή του πάλσαρ γύρω από τον άξονά του. Η περιοδικότητα, μάλιστα, αυτών των «φάρων» του Διαστήματος

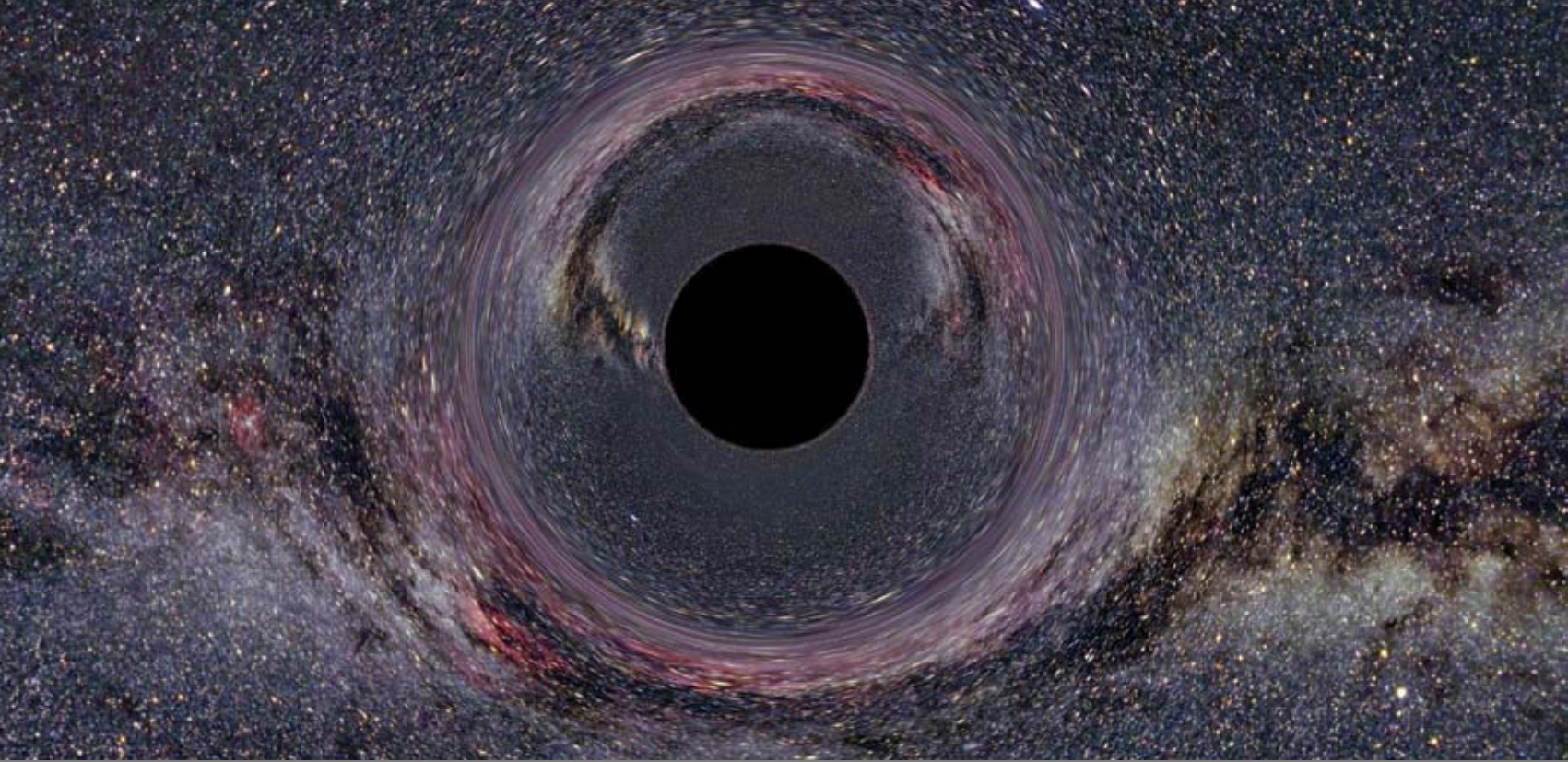
είναι τόσο σταθερή, που όταν παρατηρήθηκαν για πρώτη φορά, ορισμένοι υπέθεσαν ότι επρόκειτο για κάποιο σήμα εξωγήινου πολιτισμού. Καθώς, όμως, οι νεογέννητοι αστέρες νετρονίων συνεχίζουν να περιστρέφονται, «χάνουν» ενέργεια συνεχώς και η περιστροφή τους επιβραδύνεται, με αποτέλεσμα να εκπέμπουν όλο και λιγότερη ακτινοβολία. Έτσι, σε μερικές δεκάδες χιλιάδες χρόνια από τον σχηματισμό τους θα περιστρέφονται τόσο αργά και η ακτινοβολία που εκπέμπουν θα είναι τόσο περιορισμένη, που δεν θα θεωρούνται πια πάλσαρ.

Αυτές οι αστρικές εκρήξεις που μόλις περιγράψαμε, οι οποίες «σπέρνουν» στο Διάστημα όλα τα βαρύτερα χημικά στοιχεία που συνέθεσαν στο εσωτερικό τους, παρά την καταστροφική τους δύναμη, εμπλουτίζουν μ' αυτά τα διάσπαρτα νεφελώματα αερίων και διαστημικής σκόνης, μέσα στα οποία θα γεννηθούν τα άστρα και οι πλανήτες των επομένων γενεών. Γι' αυτό και χωρίς τις εκρήξεις των σουπερνόβα δεν θα υπήρχαν πλανήτες και δορυφόροι. Χωρίς τις σουπερνόβα δεν θα υπήρχε η Γη, δεν θα υπήρχαν βράχια και βότσαλα, δεν θα υπήρχαν φυτά και ζώα. Χωρίς τις εκρήξεις των σουπερνόβα, δεν θα υπήρχε ο άνθρωπος, γιατί ολόκληρη η ύλη στο σώμα μας, όλα τα χημικά στοιχεία που το αποτελούν, φτιάχτηκαν στην «κόλαση» τέτοιων αστρικών θανάτων. Είμαστε δηλαδή αστράνθρωποι και δημιουργήσαμε από χημικά στοιχεία φτιαγμένα στις θανατηφόρες εκρήξεις υπεργιγάντιων άστρων. Είμαστε όλοι μας αστρόσκονη, και κάποια μέρα θα ξαναγυρίσουμε στα άστρα.



## 10. Μαύρες τρύπες

Από όλα τα θαυμαστά και παράξενα αντικείμενα του Γαλαξία μας κανένα δεν είναι πιο θαυμαστό και παράξενο από τις μαύρες τρύπες. Πραγματικά, οι **μαύρες τρύπες** συγκαταλέγονται στα πιο μυστηριώδη ουράνια σώματα, στο εσωτερικό των οποίων οι γνωστοί νόμοι της Φυσικής δεν έχουν καμία υπόσταση. Και όμως, η **Γενική Θεωρία της Σχετικότητας** του **Άλμπερτ Αϊνστάιν** (1879-1955) προβλέπει την ύπαρξή τους, ενώ η σύγχρονη επιστημονική έρευνα με τη βοήθεια των διαστημικών μας τηλεσκοπίων έχει ήδη οδηγήσει στον εντοπισμό πολλών από αυτές. Στον αστερισμό του Κύκνου, για παράδειγμα, περίπου 6.000 έτη φωτός μακριά από τη Γη, ανακαλύφθηκε μία μαύρη τρύπα με μάζα 9 φορές μεγαλύτερη από αυτή του Ήλιου. Γνωρίζουμε σήμερα ότι αυτού του είδους οι «αστρικές» μαύρες τρύπες αποτελούν το τελικό στάδιο της εξέλιξης των άστρων, με μάζα πολλαπλάσια από αυτή του Ήλιου. Γνωρίζουμε επίσης ότι οι περισσότεροι γαλαξίες του Σύμπαντος φιλοξενούν στους πυρήνες τους κολλοσιαίες, «γαλαξιακές» μαύρες τρύπες, που περιλαμβάνουν τη μάζα εκατομμυρίων, ακόμη και δισεκατομμυρίων ήλιων. Πώς δημιουργούνται αυτά τα παράξενα «αντικείμενα» με την πανίσχυρη βαρυτική έλξη; Τι ιδιότητες έχουν και πώς μπορούμε να τα ανιχνεύσουμε;



Αστρική μαύρη τρύπα: προσομοίωση σε υπολογιστή

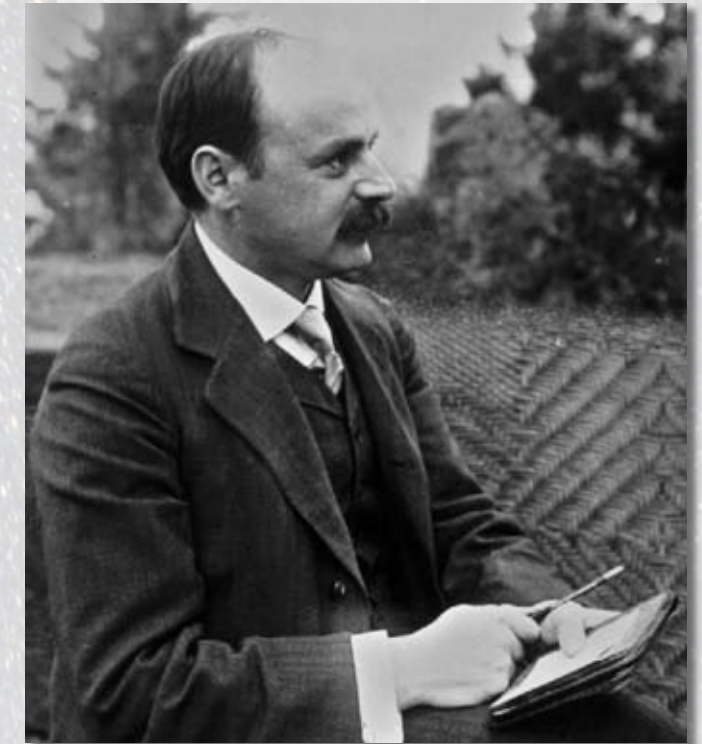
(Ute Kraus, Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik, Göl, and Theoretische Astrophysik, Universität Tübingen).

Για να πάρουμε τα πράγματα από την αρχή, θα χρειαστεί να ανατρέξουμε στα τέλη του 18<sup>ου</sup> αιώνα, σε μια εποχή όπου η καθιερωμένη και ευρύτατα αποδεκτή περιγραφή της βαρύτητας δινόταν μέσα από τους νόμους του **Νεύτωνα** (1642–1727). Σύμφωνα με την κλασική, **Νευτώνεια Μηχανική**, κάθε αντικείμενο που εκτινάσσεται κατακόρυφα προς τον ουρανό, ανάλογα με την αρχική του ταχύτητα, ανέρχεται σε κάποιο ύψος, για να ξαναπέσει στη Γη αργότερα. Εάν όμως η αρχική του ταχύτητα είναι αρκετά μεγάλη, τότε το αντικείμενο αυτό θα διαφύγει από το βαρυτικό πεδίο της Γης για πάντα. Αυτή η ταχύτητα ονομάζεται **ταχύτητα διαφυγής** και για τον πλανήτη μας ισούται με 11 km/sec. Κάθε ουράνιο σώμα

χαρακτηρίζεται από τη δική του ταχύτητα διαφυγής, η οποία είναι ανάλογη με τη μάζα του και αντιστρόφως ανάλογη της ακτίνας του. Για να το θέσουμε διαφορετικά, όσο μεγαλύτερη ποσότητα ύλης είναι συγκεντρωμένη στον μικρότερο δυνατό όγκο, τόσο μεγαλύτερη πρέπει να είναι και η ταχύτητα με την οποία θα πρέπει να εκτιναχθεί ένα αντικείμενο, προκειμένου να διαφύγει από τη βαρυτική έλξη της. Αν θέλαμε να διαφύγουμε από τον Δία, για παράδειγμα, θα έπρεπε να ταξιδεύαμε 6 φορές πιο γρήγορα από την ταχύτητα που χρειαζόμαστε για να διαφύγουμε από τη Γη, ενώ για να διαφύγουμε από τη βαρυτική έλξη του Ήλιου θα έπρεπε να κινηθούμε με ταχύτητα μεγαλύτερη των 22.000.000 km/h.

Κάνοντας τέτοιους περίπου συλλογισμούς και βασισμένοι, όπως είπαμε, στους νόμους του Νεύτωνα, ο Βρετανός γεωλόγος **John Michell** (1724–1793) και ο Γάλλος μαθηματικός και αστρονόμος **Pierre-Simon Laplace** (1749–1827), ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο, υποστήριξαν ότι, θεωρητικά τουλάχιστον, είναι δυνατό να υπάρχουν κάποια «σκοτεινά» άστρα με τόσο μεγάλη μάζα και τόσο μικρή ακτίνα, ώστε η ταχύτητα διαφυγής από την επιφάνειά τους να υπερβαίνει την ταχύτητα του φωτός. Υιοθετώντας λοιπόν την άποψη ότι το φως αποτελείται από σωματίδια με μάζα, οι δύο αυτοί φυσικοί φιλόσοφοι κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι αυτού του είδους τα άστρα θα παγίδευαν το ίδιο τους το φως, και ως εκ τούτου θα ήταν αόρατα. Σήμερα, βέβαια, γνωρίζουμε ότι τα φωτόνια της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας δεν έχουν μάζα και, πολύ περισσότερο, γνωρίζουμε ότι οι μελέτες τους αναφορικά με την ύπαρξη των σκοτεινών άστρων βασίστηκαν στον νόμο της βαρύτητας του Νεύτωνα, ο οποίος, όπως μάθαμε από τον Αϊνστάιν, σε περιπτώσεις ισχυρών βαρυτικών πεδίων, καταρρέει. Όπως και να 'χει, το ενδιαφέρον για τα σκοτεινά άστρα των Michell και Laplace ατόνησε γρήγορα και η πιθανότητα ύπαρξης αυτών των παράξενων ουράνιων σωμάτων που με το πανίσχυρο βαρυτικό τους πεδίο θα παγίδευαν και αυτό ακόμη το φως, πέρασε, προσωρινά τουλάχιστον, στη λήθη.

Και όμως, περισσότερο από έναν αιώνα αργότερα, οι επιστήμονες τα «ανακάλυψαν» εκ νέου, αυτή τη φορά μέσα από μία νέα θεωρία βαρύτητας, τη Γενική θεωρία της Σχετικότητας. Και αυτή τη φορά, έχοντας στη διάθεσή τους το πανίσχυρο θεωρη-



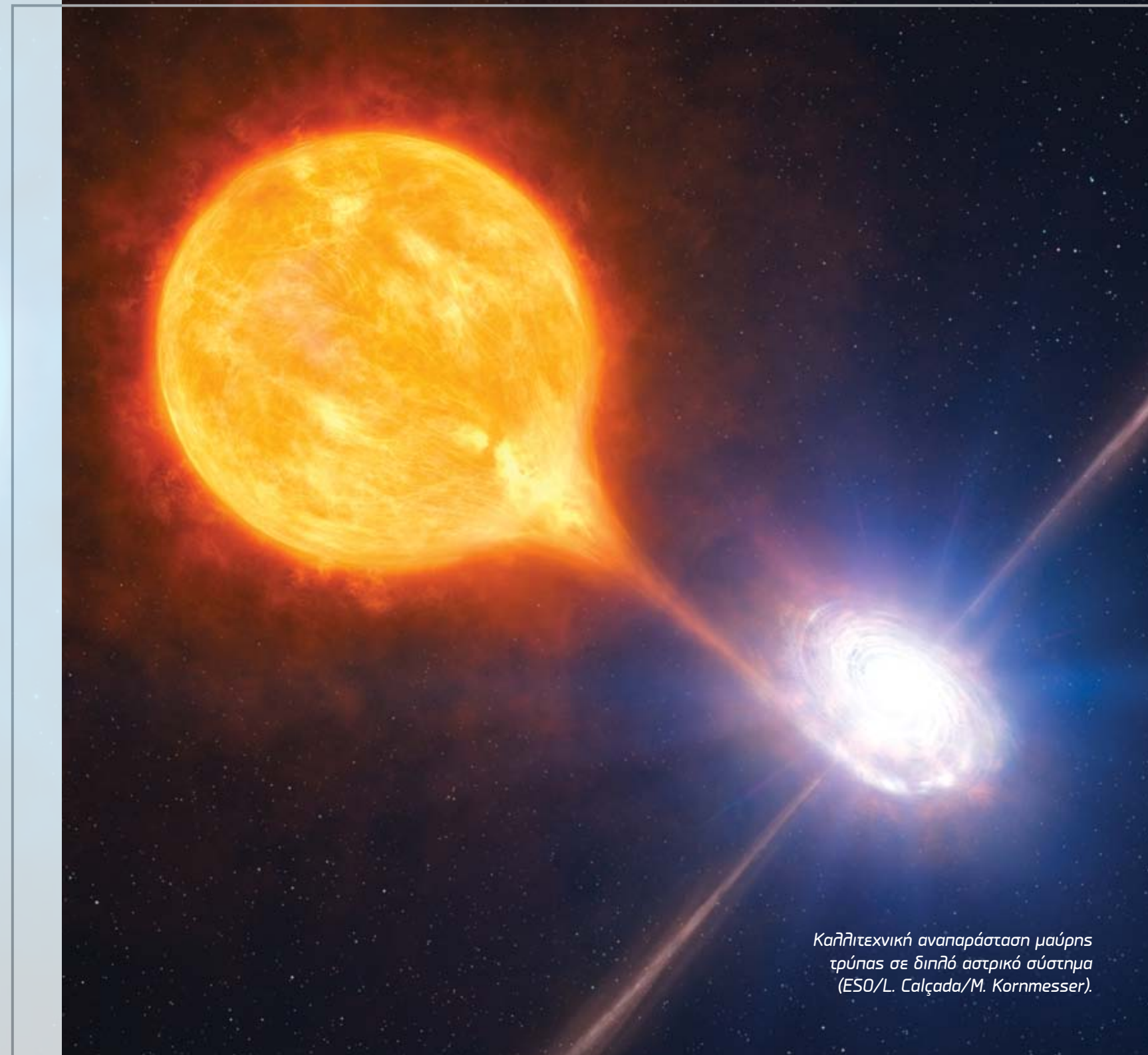
Ο Γερμανός αστρονόμος Karl Schwarzschild.

τικό εργαλείο που τους κληροδότησε ο Αϊνστάιν, μας βοήθησαν να κατανοήσουμε περισσότερο αυτά τα παράξενα αντικείμενα που, όπως και να τα περιγράψει κανείς –μαθηματικές ανωμαλίες, ακανόνιστα βαρυτικά πηγάδια ή αδυσώπητες διαστημικές ρουφήχτρες–, η βαρυτική τους έλξη είναι τόσο ισχυρή ώστε, εντός μιας κεντρικής περιοχής που οριοθετεί ο επονομαζόμενος «ορίζοντας γεγονότων» τους τίποτε δεν μπορεί να διαφύγει, ούτε καν το ίδιο φως. Ελάχιστες εβδομάδες μετά τη δημοσίευση της Γενικής θεωρίας της Σχετικότητας και λίγο πριν πεθάνει σε νεαρότατη ηλικία το 1916, ο Γερμανός αστρονόμος **Karl Schwarzschild** (1873–

1916) ανακάλυψε την πρώτη και απλούστερη μαθηματική επίλυση των εξισώσεων του Αϊνστάιν, η οποία περιγράφει το βαρυτικό πεδίο που δημιουργείται γύρω από μία σφαιρική και μη περιστρεφόμενη συσσώρευση ύλης. Τηρουμένων των αναλογιών, η λύση αυτή περιέγραφε εκείνο ακριβώς το «σκοτεινό άστρο» των Michell και Laplace, με μια όμως σημαντική διαφορά. Το «σκοτεινό άστρο» του Schwarzschild έχει στην ουσία ολόκληρη τη μάζα του συγκεντρωμένη σε ένα σημείο με μηδενικό όγκο και άπειρη πυκνότητα, σε μια **μοναδικότητα** ή **ανωμαλία**, όπως την αποκαλούν οι αστρονόμοι, στην ίδια την υφή του χωροχρόνου, όπου ο χώρος αποκτά άπειρη καμπυλότητα και ο χρόνος παύει να υπάρχει, με δυο λόγια σε ένα «ιδιόμορφο χωροχρονικό σημείο» όπου οι νόμοι της Φυσικής, όπως τουλάχιστον τους γνωρίζουμε, απλά καταρρέουν.

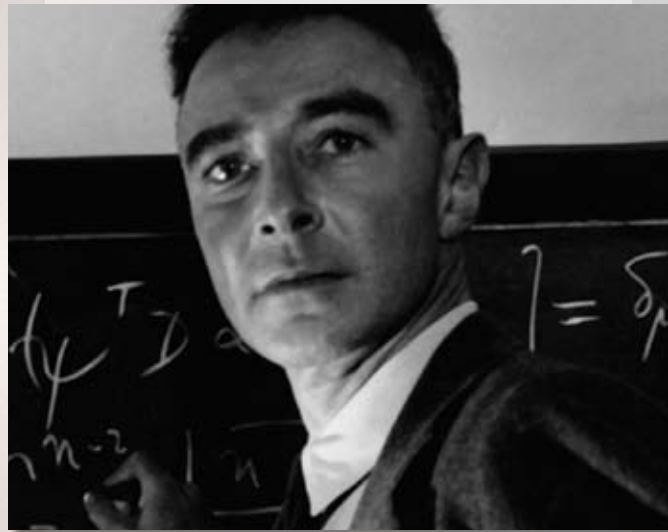
Σύμφωνα με τη μαθηματική λύση του Schwarzschild, η μοναδικότητα αυτή βρίσκεται στο κέντρο μιας σφαιρικής επιφάνειας, που την «κρύβει» από το υπόλοιπο Σύμπαν, γνωστή σήμερα ως **ορίζοντας γεγονότων** ή **ακτίνα Schwarzschild**. Η ακτίνα Schwarzschild αποτελεί το όριο της «μη επιστροφής», την απόσταση δηλαδή από την κεντρική ανωμαλία, στην οποία το βαρυτικό πεδίο είναι τόσο ισχυρό, ώστε η ταχύτητα διαφυγής ισούται με την ταχύτητα του φωτός. Πνευματικός πατέρας αυτών των παράξενων αντικειμένων έγινε μισό αιώνα αργότερα ο Αμερικανός φυσικός **John Wheeler** (1911-2008), ο οποίος σε μια διάλεξή του στο Ινστιτούτο Διαστημικών Ερευνών Goddard το 1967 τις ονόμασε «μαύρες τρύπες».

Η λύση Schwarzschild που αντιστοιχεί σε αυτού του είδους τις στατικές, μη περιστρεφόμενες και χωρίς ηλεκτρικό φορτίο μαύρες τρύπες, είναι η απλούστερη που υπάρχει, αφού για να τις περιγράψει κάποιος πλήρως, το μόνο που χρειάζεται να γνωρίζει είναι η μάζα τους. Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι ο μαθηματικός τύπος που δίνει την ακτίνα Schwarzschild μέσα από τη Γενική Σχετικότητα είναι ακριβώς ο ίδιος με εκείνον στον οποίο κατέληξαν οι Michell και Laplace για την ακτίνα των σκοτεινών άστρων τους, χρησιμοποιώντας τους νόμους του Νεύτωνα. Σύμφωνα με αυτόν τον μαθηματικό τύπο, εάν η  $\Gamma$  μετατρεπόταν ξαφνικά σε μαύρη τρύπα, ο ορίζοντας γεγονότων της θα είχε ακτίνα που δεν υπερβαίνει αυτήν ενός κερασισού, όταν για τον Ήλιο η ακτίνα Schwarzschild υπολογίζεται σε λιγότερο από 3 km. Θα πρέπει να αναφέρουμε εδώ ότι εκείνη την εποχή η μαθηματική λύση του Schwarzschild δεν είχε «υλική υπόσταση». Αρκετά ακόμη χρόνια χρειάστηκε να περάσουν προτού οι επιστήμονες αρχίσουν να σκέφτονται σοβαρά την πιθανότητα ότι τα παράξενα αυτά «μαθηματικά» αντικείμενα όντως υπάρχουν. Το επόμενο σημαντικό βήμα στη θεωρητική μελέτη των μαύρων τρυπών πραγματοποιήθηκε στα 1916-18, όταν οι φυσικοί **Hans Reissner** (1874-1967) και **Gunnar Nordström** (1881-1923) ανακάλυψαν μία ακόμη λύση των εξισώσεων της σχετικότητας, μέσα από την οποία περιγράφεται το βαρυτικό πεδίο που δημιουργείται γύρω από μια στατική μαύρη τρύπα, η οποία όμως φέρει ηλεκτρικό φορτίο. Για λόγους τους οποίους δεν θα διερευνήσουμε περαιτέρω, αυτές οι ηλεκτρικά φορτισμένες μαύρες τρύπες δεν πρέπει να υπάρχουν στη φύση.



Καλλιτεχνική αναπαράσταση μαύρης τρύπας σε διπλό αστρικό σύστημα (ESO/L. Calçada/M. Kornmesser).

Στα χρόνια που ακολούθησαν, η αποκρυπτογράφηση της γέννησης και της εξελικτικής πορείας των άστρων από μια πλειάδα λαμπρών ερευνητών, οδήγησε σταδιακά στο συμπέρασμα ότι αυτές οι παράξενες μαθηματικές λύσεις των εξισώσεων της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας αποκτούν υλική υπόσταση μέσα από τον θάνατο των γιγάντιων άστρων. Πραγματικά, γνωρίζουμε σήμερα ότι, μόλις εξαντλήσουν τα πυρηνικά τους καύσιμα, τα άστρα αυτά εκρήγνυνται ως σουπερνόβα, την ίδια στιγμή που ο κεντρικός τους πυρήνας αδυνατεί να αντισταθεί στην ίδια του τη βαρύτητα και καταρρέει. Εάν η μάζα του αστρικού πυρήνα που επέζησε από την καταστροφική έκρηξη, είναι μικρότερη από τις 3 ηλιακές μάζες, τότε ο πυρήνας του άστρου καταρρέει, σχηματίζοντας έναν αστέρα νετρονίων. Εάν, όμως, η μάζα του υπερβαίνει αυτό το όριο, τίποτε πλέον δεν μπορεί να αντισταθεί στην περαιτέρω βαρυτική του κατάρρευση σε ένα σημείο μηδενικού όγκου και άπειρης πυκνότητας, δηλαδή σε μια μαύρη τρύπα. Σ' αυτή την περίπτωση, η ύλη από την οποία αποτελούνταν ο αστρικός πυρήνας «εξαφανίζεται» μέσα στη μοναδικότητα και το μόνο που παραμένει, υποδηλώνοντας ότι εδώ υπάρχει «κάτι» είναι το βαρυτικό της πεδίο. Αυτό το κρίσιμο όριο των 3 ηλιακών μαζών υπολογίστηκε για πρώτη φορά το 1939, μέσα απ' τις θεωρητικές μελέτες των **Robert Oppenheimer** (1904-1967) και **George Volkoff** (1914-2000), οι οποίοι βασισμένοι σε προηγούμενη έρευνα του **Richard Tolman** (1881-1948), συνειδητοποίησαν ότι, όπως ακριβώς η μάζα των άσπρων νάνων δεν μπορεί να υπερβεί ένα συγκεκριμένο όριο (το όριο Chandrasekhar), το ίδιο ακριβώς πρέπει να ισχύει και για τους αστέρες νετρονίων. Ακόμη όμως και τότε η επιστη-



*Ο Αμερικανός φυσικός Robert Oppenheimer.*

μονική κοινότητα δεν ήταν έτοιμη να αποδεχτεί την ύπαρξη τέτοιων παράδοξων αντικειμένων.

Στα χρόνια που ακολούθησαν δημοσιεύθηκαν «ρεαλιστικότερες» λύσεις των εξισώσεων της Γενικής Σχετικότητας. Απ' ό,τι φαίνεται, οι πλέον «ρεαλιστικές» μαύρες τρύπες, που προκύπτουν από την επίλυση των εξισώσεων του Αϊνστάιν, είναι οι περιστρεφόμενες μαύρες τρύπες, τις οποίες πρώτος μελέτησε ο Νεοζηλανδός φυσικός **Roy Kerr** το 1963. Είναι οι πιο ρεαλιστικές διότι, όπως γνωρίζουμε, τα άστρα των γαλαξιών του Σύμπαντος περιστρέφονται γύρω από τον εαυτό τους, γεγονός που σημαίνει ότι, σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της στροφορμής, οι μαύρες τρύπες που δημιουργούνται από τον θάνατο των άστρων θα πρέπει να περιστρέφονται και αυτές. Σε αντίθεση, μάλιστα, με τις μαύρες τρύπες του Schwarzschild, οι πε-

ριστρεφόμενες μαύρες τρύπες περιβάλλονται όχι από ένα, αλλά από δύο ορίζοντες γεγονότων, ενώ η μοναδικότητα που υπάρχει στο κέντρο τους δεν είναι σημειακή, αλλά σχηματίζει έναν δακτύλιο.

Όπως, όμως, ανακαλύψαμε στη διάρκεια των τελευταίων 50 περίπου ετών, οι αστρικές μαύρες τρύπες δεν είναι οι μοναδικές μαύρες τρύπες που υπάρχουν στο Διάστημα. Πραγματικά, οι επιστήμονες σήμερα υιοθετούν την άποψη ότι οι περισσότεροι μεγάλοι γαλαξίες του Σύμπαντος φιλοξενούν στον πυρήνα τους κολλοσσιαίες μαύρες τρύπες, με μάζες που μπορεί να είναι ακόμη και δισεκατομμύρια φορές μεγαλύτερες απ' αυτήν του Ήλιου. Εφόσον, όμως, και αυτό ακόμη το φως δεν μπορεί να διαφύγει από τη βαρυτική έλξη μιας μαύρης τρύπας, πού στηρίζουμε την πεποίθησή μας ότι όντως υπάρχουν; Ο μοναδικός τρόπος ανίχνευσης μιας

μαύρης τρύπας βασίζεται στην επιρροή που ασκεί με το ισχυρότατο βαρυτικό της πεδίο στην ύλη που την περιβάλλει. Γι' αυτό και οι απομονωμένες αστρικές μαύρες τρύπες είναι ιδιαίτερα δύσκολο, ίσως και αδύνατο να ανιχνευθούν. Εάν, όμως, μια αστρική μαύρη τρύπα αποτελεί μέρος ενός διπλού αστρικού συστήματος, η ύπαρξή της μπορεί να φανερωθεί εμμέσως, από την «ανεξήγητα» μεγάλη ταχύτητα με την οποία περιφέρεται το άστρο-συνοδός της γύρω από ένα σκοτεινό σημείο.

Η ίδια τεχνική χρησιμοποιείται και για την ανίχνευση των γαλαξιακών μαύρων τρυπών. Παρατηρήσεις σε μήκη κύματος που αντιστοιχούν στο οπτικό και στο μικροκυματικό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, καταδεικνύουν ότι οι ταχύτητες με τις οποίες περιφέρονται τα άστρα που βρίσκονται πλησιέστερα στους πυρήνες ορισμέ-

*Ενεργητικοί πίδακες σωματιδίων, που εκτινάσσονται από υπερμεγέθη μαύρη τρύπα, προκαλούν επεισόδια αστρογένεσης σε γειτονικό γαλαξία.*

*Τα αναπάντητα ερωτήματα που σχετίζονται με τις γαλαξιακές μαύρες τρύπες είναι ακόμη πολλά (ESO/L. Calçada).*





νων γαλαξιών είναι τόσο μεγάλες, που μόνο το πανίσχυρο βαρυτικό πεδίο μιας κεντρικής και τεράστιας συσώρευσης ύλης θα μπορούσε να συγκρατήσει στις τροχιές τους. Εκτός αυτού, ο υπολογισμός της ταχύτητας, με την οποία τα άστρα αυτά στροβιλίζονται γύρω από τους γαλαξιακούς πυρήνες, μπορεί να μας αποκαλύψει και τη μάζα της. Τέτοιοι υπολογισμοί, για παράδειγμα, στη διάρκεια της τελευταίας δεκαπενταετίας οδήγησαν τους αστρονόμους στο συμπέρασμα ότι και αυτός ακόμη ο Γαλαξίας μας φιλοξενεί στο κέντρο του μια υπερμεγέθη μαύρη τρύπα, με μάζα περίπου 4 εκατομμύρια φορές μεγαλύτερη από αυτήν του Ήλιου, γνωστή ως **Sagittarius A\***.

Η δεύτερη σημαντική μέθοδος στην οποία καταφεύγουν οι αστρονόμοι στην προσπάθειά τους να εντοπίσουν τις μαύρες τρύπες βασίζεται στην ανίχνευση της φαινομενικά ανεξήγητης εκπομπής μεγάλων ποσοτήτων ακτίνων Χ. Παρατηρήσεις σε μήκη κύματος που αντιστοιχούν στις ακτίνες Χ, μας δείχνουν ότι πολλοί γαλαξιακοί πυρήνες απελευθερώνουν τεράστια ποσά ενέργειας. Ποιος φυσικός μηχανισμός άραγε θα μπορούσε να δικαιολογήσει κάτι τέτοιο; Η μοναδική μέχρι στιγμής απάντηση σε αυτό το ερώτημα, που άντεξε και εξακολούθει να αντέχει με επιτυχία τη βάσανο της επιστημονικής διερεύνησης, είναι να υποθέσουμε ότι φιλοξενούν στο κέντρο τους μαύρες τρύπες ασύλληπτου βάρους. Γιατί, σ' αυτή την περίπτωση, καθώς τα γιγάντια νέφη αερίων και σκόνης που περιβάλλουν μια γαλαξιακή μαύρη τρύπα στροβιλίζονται γύρω της, σχηματίζουν έναν δίσκο υπερθερμασμένων υλικών, τα οποία κάτω από την αδυσώπητη βαρυτική της

έλξη κινούνται με όλο και μεγαλύτερη ταχύτητα, όλο και πλησιέστερα στον ορίζοντα γεγονότων της. Τα αέρια αυτά θερμαίνονται εξαιτίας της τριβής σε εκατομμύρια βαθμούς Κελσίου και, λίγο πριν καθούν για πάντα πίσω από τον ορίζοντα γεγονότων της, ακτινοβολούν ακτίνες Χ, τις οποίες ανιχνεύουμε με τα διαστημικά μας τηλεσκόπια. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μάλιστα, και για λόγους οι οποίοι δεν είναι ακόμη απολύτως κατανοητοί, αλλά που μάλλον σχετίζονται με τα πολύπλοκα και στρεβλωμένα μαγνητικά πεδία που αναπτύσσονται γύρω από ορισμένες γαλαξιακές μαύρες τρύπες, δημιουργούνται ενεργητικοί πίδακες φορτισμένων σωματιδίων. Οι πίδακες αυτοί εκτοξεύονται προς αντίθετες κατευθύνσεις, με ταχύτητες που πλησιάζουν την ταχύτητα του φωτός σε αποστάσεις ακόμη και χιλιάδες έτη φωτός μακριά.

Η ίδια αυτή τεχνική χρησιμοποιείται και για την ανίχνευση των αστρικών μαύρων τρυπών, υπό την προϋπόθεση ότι αυτές ανήκουν και πάλι σε διπλά αστρικά συστήματα. Αυτού του είδους τα αστρικά

συστήματα αποτελούνται από ένα «ορατό» άστρο, το οποίο περιφέρεται γύρω από τον «αόρατο» συνοδό του, που μπορεί να είναι είτε ένας αστέρας νετρονίων είτε μια μαύρη τρύπα. Ακριβώς όπως συμβαίνει και στην περίπτωση των γαλαξιακών μαύρων τρυπών, αλλά σε πολύ μικρότερη κλίμακα, το αόρατο «άστρο» έλκει αέρια από τις εξωτερικές στοιβάδες του ορατού άστρου, τα οποία στροβιλίζονται γύρω του, σχηματίζοντας και σε αυτή την περίπτωση έναν δίσκο υπερθερμασμένων υλικών, που κι αυτά εκπέμπουν ακτινοβολία Χ. Για παράδειγμα, στον Γαλαξία μας έχουν ήδη ανακαλυφθεί πολλά τέτοια διπλά αστρικά συστήματα που εκπέμπουν ακτίνες Χ. Σε ορισμένα απ' αυτά, μάλιστα, η μεγάλη ταχύτητα με την οποία περιφέρεται το ορατό άστρο γύρω απ' το αόρατο, επέτρεψε στους αστρονόμους να αποκλείσουν την πιθανότητα ότι αυτό είναι αστέρας νετρονίων, και να καταλήξουν στο συμπέρασμα ότι δεν μπορεί να είναι τίποτε άλλο από μια μαύρη τρύπα.

Αναφέραμε μέχρι τώρα ότι οι αστρικές μαύρες τρύπες αποτελούν το τελικό στάδιο της εξέλιξης των άστρων με μάζα πολλαπλάσια απ' αυτήν του Ήλιου και ότι οι γαλαξιακές μαύρες τρύπες θα πρέπει να υπάρχουν στους πυρήνες των περισσότερων γαλαξιών

του Σύμπαντος, ενώ σκιαγραφήσαμε και τις δύο βασικές μεθόδους ανίχνευσής τους. Ενώ, όμως, γνωρίζουμε σε γενικές γραμμές τον φυσικό μηχανισμό σχηματισμού των αστρικών μαύρων τρυπών, δεν μπορούμε να ισχυριστούμε το ίδιο και για τις γαλαξιακές μαύρες τρύπες. Και δεν είναι μόνο αυτό. Μια ολόκληρη σειρά ερωτημάτων, που αφορούν στη γένεση και στην εξέλιξη των τελευταίων παραμένουν ακόμη και σήμερα αναπάντητα. Πού οφείλεται, για παράδειγμα, αυτό το τεράστιο εύρος στις μάζες των γαλαξιακών μαύρων τρυπών που έχουν υπολογίσει οι αστρονόμοι; Σχετίζεται άραγε η μάζα τους με τη μάζα του γαλαξία που τις φιλοξενεί; Και εάν ναι, τι δημιουργήθηκε πρώτα: η μαύρη τρύπα ή μήπως ο γαλαξίας που τη φιλοξενεί; Αυτού του είδους τα ερωτήματα δεν έχουν ακόμη απαντηθεί σε ικανοποιητικό βαθμό. Όπως, όμως, πιστεύουν οι περισσότεροι αστρονόμοι, η γένεση και η εξέλιξη των γαλαξιών και των μαύρων τρυπών τους, θα πρέπει να είναι άρρηκτα συνδεδεμένες μεταξύ τους. Τα βαθύτερα αίτια αυτού του συσχετισμού αποτελούν αναμφίβολα ένα από τα κορυφαία και αναπάντητα ακόμη ερωτήματα που αντιμετωπίζει η σύγχρονη αστροφυσική. Εξίσου αναπάντητα παραμένουν και τα ερωτήματα που σχετίζονται με το τι συμβαίνει στο εσωτερικό μιας μαύρης τρύπας. Και ένας ίσως από τους λόγους να είναι και το γεγονός ότι δεν έχει ακόμη διατυπωθεί μια ικανοποιητική **κβαντική θεωρία βαρύτητας**. Μια θεωρία, δηλαδή, η οποία θα «πάντρευε» τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, που περιγράφει τον μακρόκοσμο, με το Καθιερωμένο Πρότυπο, που περιγράφει τον μικρόκοσμο των στοιχειωδών σωματιδίων.



## 11. Επίλογος: Ταξιδεύοντας στα άστρα

Το πνεύμα της εξερεύνησης που χαρακτηρίζει το ανθρώπινο γένος, το οποίο οδήγησε μεγάλους εξερευνητές από τα πέρατα της Αφρικής στους Πόλους του πλανήτη και από τη Στέγη του Κόσμου στα βάθη των ωκεανών, παραμένει άσβεστο. Είναι το ίδιο πνεύμα που οδήγησε τους πρώτους αστροναύτες στη Σελήνη και τις διαστημοσυσσκευές μας στα πέρατα του Ηλιακού Συστήματος, και αποτυπώνεται χαρακτηριστικά στην πασίγνωστη «ατάκα» της σειράς επιστημονικής φαντασίας Στार Τρεκ: «να εξερευνήσουμε παράξενους νέους κόσμους, να αναζητήσουμε νέα ζωή και νέους πολιτισμούς και με τόλμη να πάμε εκεί που κανείς έως τώρα δεν έχει πάει». Ήδη, οι μεγάλες διαστημικές υπηρεσίες της Ευρώπης, της Αμερικής, της Ρωσίας και της Κίνας επεξεργάζονται φιλόδοξα σχέδια, όχι μόνο για την κατασκευή βάσεων στη Σελήνη, αλλά και για την πρώτη επανδρωμένη αποστολή στον Άρη. Και οι δύο αυτοί στόχοι θεωρούνται απολύτως εφικτοί, ενώ δεν υπάρχει αμφιβολία ότι το πολύ μέσα στις επόμενες δεκαετίες θα υλοποιηθούν. Μπορούμε, άραγε, να ισχυριστούμε το ίδιο για τα διαστρικά ταξίδια; Παρόλο που αρκετοί ερευνητές σε μεγάλα πανεπιστήμια και ερευνητικούς οργανισμούς αναλογίζονται ήδη τους τρόπους με τους οποίους θα καταφέρουν να αντιμετωπίσουν τις τεράστιες επιστημονικές και τεχνολογικές προκλήσεις ενός ταξιδιού σε κάποιον πλανήτη εκτός του Ηλιακού Συστήματος, το ταξίδι αυτό, για το άμεσο τουλάχιστον μέλλον, παραμένει σενάριο επιστημονικής φαντασίας.

Μέχρι σήμερα, πάντως, έχει επιβεβαιωθεί η ύπαρξη 900 περίπου εξωπλανητών, ενώ σύμφωνα με τις τελευταίες θεωρητικές αναλύσεις και μελέτες, μόνο ο Γαλαξίας μας θα πρέπει να εμπεριέχει δεκάδες δισεκατομμύρια πλανήτες. Αναπόφευκτα, κάποιοι τουλάχιστον απ' αυτούς θα έχουν βραχώδη σύσταση και θα βρίσκονται στη «σωστή» απόσταση από το άστρο τους, γεγονός που θα επιτρέπει την ύπαρξη νερού σε υγρή μορφή. Αυτή η συναρπαστική πιθανότητα της ύπαρξης εξωπλανητών που, θεωρητικά τουλάχιστον, ευνοούν την εμφάνιση και την ανάπτυξη μορφών ζωής και είναι κατοικήσιμοι, εξακολουθεί να εξάπτει τη φαντασία και να παρακινεί το ενδιαφέρον για την εξερεύνησή τους. Στον αστερισμό της Λύρας, για παράδειγμα, περίπου 1.200 έτη φωτός μακριά από τη Γη, οι αστρονόμοι ανακάλυψαν, με τη βοήθεια του διαστημικού τηλεσκοπίου Kepler, έναν πλανήτη, ο οποίος μοιάζει με τη Γη περισσότερο από οποιονδήποτε άλλο έχει ανακαλυφθεί μέχρι τώρα. Θα μπορούσαμε ποτέ να τον επισκεφτούμε; Δυστυχώς, όπως έχουμε ήδη πει, η απάντηση είναι όχι, ή τουλάχιστον όχι για πολύ καιρό ακόμα. Γι' αυτό, παρόλες τις ελπίδες του ανθρώπου να επισκεφτεί νέους κόσμους, τα διαστημικά ταξίδια, που θα μας επιτρέψουν να ξεφύγουμε από τα στενά όρια του Ηλιακού Συστήματος και να ταξιδέψουμε στο αχανές Διάστημα, θα παραμείνουν για καιρό ακόμα ένα άπιαστο όνειρο.

Ας δούμε γιατί. Απ' όσο γνωρίζουμε, το πλησιέστερο σε μας άστρο είναι ο Εγγύτατος του Κενταύρου, σε απόσταση 4,24 ετών φωτός από τη Γη, γεγονός που σημαίνει ότι το φως που εκπέ-

μπει, ταξιδεύοντας με 300.000 km/s, χρειάζεται 4,24 χρόνια προκειμένου να διανύσει την απόσταση των 40 τρισεκατομμυρίων km που μας χωρίζει. Η διαστημοσυσκευή Voyager 1, η οποία έχει απομακρυνθεί περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη απ' όσες έχουμε στείλει στον ωκεανό του Διαστήματος, 36 ολόκληρα χρόνια μετά την εκτόξευσή της, βρίσκεται μόλις 120 AM μακριά από τον Ήλιο. Με αυτή την ταχύτητα και με την προϋπόθεση ότι τα καύσιμά της θα διαρκέσουν «για πάντα», θα χρειαζόταν σχεδόν 75.000 χρόνια, προκειμένου να φτάσει στον Εγγύτατο του Κενταύρου και περισσότερα από 2 δισεκατομμύρια χρόνια, προκειμένου να διασχίσει τον Γαλαξία μας από τη μία του άκρη στην άλλη! Το πόσο θα χρειαζόταν προκειμένου να φτάσει στον γαλαξία της Ανδρομέδας, τον πλησιέστερο σε μας γιγάντιο σπειροειδή γαλαξία, ας μην το αναφέρουμε καλύτερα.

Πραγματικά, οι τεράστιες αποστάσεις είναι η μεγαλύτερη πρόκληση που αντιμετωπίζουν τα διαστημικά ταξίδια αφού, προκειμένου να υλοποιηθούν, απαιτούνται όχι μόνο τεράστιες ταχύτητες, αλλά και ανάλογα μεγάλος χρόνος ταξιδιού. Δεν είναι, όμως, και η μόνη. Για παράδειγμα, ποια θα είναι η προωστική μέθοδος και τα καύσιμα που θα χρησιμοποιηθούν στο απώτερο μέλλον από τα διαστημόπλοια των μακρινών μας απογόνων; Με ποιον τρόπο θα προστατεύονται οι επιβάτες από τη επικίνδυνη κοσμική ακτινοβολία, αλλά και τη μυοσκελετική ατροφία που θα προκαλεί η παρατεταμένη παραμονή τους σε συνθήκες μικροβαρύτητας; Αυτές είναι ελάχιστες μόνο από τις

τεχνολογικές προκλήσεις που αντιμετωπίζουν τα διαστημικά ταξίδια.

Ήδη, όμως, συγγραφείς επιστημονικής φαντασίας, αλλά και επιστήμονες, οραματίζονται γιγάντια αστρόπλοια, όπου οι επιβάτες και το πλήρωμα που θα φτάνουν στον τελικό προορισμό θα είναι οι απόγονοι εκείνων που ξεκίνησαν το συγκεκριμένο ταξίδι! Μια άλλη λύση που έχει προταθεί προκειμένου να παρακαμφθεί το πρόβλημα της εξαιρετικά μεγάλης διάρκειας των διαστημικών ταξιδιών, ιδιαίτερα δημοφιλής σε ταινίες επιστημονικής φαντασίας, βασίζεται στην τεχνητή επιβράδυνση του ανθρώπινου μεταβολισμού, την το-

ποθέτηση δηλαδή των αστροναυτών σε «στάση», σε ένα είδος χειμερίας νάρκης, από την οποία θα ξυπνήσουν όταν φτάσουν στον προορισμό τους.

Ένα άλλο πρόβλημα, που ήδη απασχολεί τους επιστήμονες είναι το τι «επιτρέπεται» και τι όχι, με βάση τους θεμελιώδεις νόμους της Φύσης, όπως τουλάχιστον τους γνωρίζουμε. Μπορούμε, για παράδειγμα, να επινοήσουμε τρόπους, προκειμένου να «παρακάμψουμε» τα θεμελιώδη θεωρητικά «εμπόδια» που μας «ορθώνουν» οι θεωρίες της σχετικότητας του Αϊνστάιν; Η Ειδική θεωρία της Σχετικότητας, για παράδειγμα, θέτει ένα ανώτατο και απαράβατο όριο ταχύτητας, σύμ-

*Καλλιτεχνική αναπαράσταση εξωπλανήτη.*



φωνα με το οποίο κανένα υλικό σώμα και καμία πληροφορία δεν μπορούν να κινηθούν ή να μεταδοθούν με ταχύτητα μεγαλύτερη από την ταχύτητα του φωτός στο κενό. Κι όμως, η ίδια αυτή θεωρία «προσφέρει» μια «διέξοδο» στο πρόβλημα της μεγάλης χρονικής διάρκειας των διαστημικών ταξιδιών. Γιατί, εάν υποθέσουμε ότι ένα διαστημόπλοιο μπορεί να επιταχυνθεί σε ταχύτητες παραπλήσιες μ' αυτήν του φωτός, το φαινόμενο της διαστολής του χρόνου, που προβλέπει η θεωρία (και έχει ήδη αποδειχθεί πειραματικά με υψηλής ακρίβειας ατομικά ρολόγια), θα καθιστούσε τη διάρκεια του ταξιδιού πολύ μικρότερη για τους επιβάτες της. Από την άλλη, βέβαια, με την επιστροφή τους στη Γη οι ταξιδευτές μας θα διαπίστωναν ότι ο χρόνος «έτρεχε» πιο γρήγορα στη Γη και ως εκ τούτου ότι οι αρχικά συνομήλικοι φίλοι τους που είχαν παραμείνει στη Γη, είχαν γεράσει πολύ περισσότερο.

Είναι, πάντως, προφανές ότι οι «κλασικές» μέθοδοι πυραυλικής προώθησης με τη χρήση χημικών καυσίμων δεν επαρκούν, αφού η τελική τους ταχύτητα παραμένει κατά πολύ μικρότερη απ' αυτήν που θα θέλαμε, ενώ οι εξωπραγματικά μεγάλες ποσότητες των καυσίμων που θα πρέπει να μεταφέρουν, θα καθιστούσαν το μέγεθος των μελλοντικών διαστημολοίων απαγορευτικά μεγάλο. Και όμως, έχει ήδη προταθεί μια σειρά από εναλλακτικές προσεγγίσεις, άλλες λιγότερο και άλλες περισσότερο «εξωφρενικές», όπως πρωτοκοί πύραυλοι που θα χρησιμοποιούν ως καύσιμο την ενέργεια που εκλύεται κατά την εξαΰλωση ύλης και αντιύλης. Η παραγωγή, βέβαια, των αναγκαί-

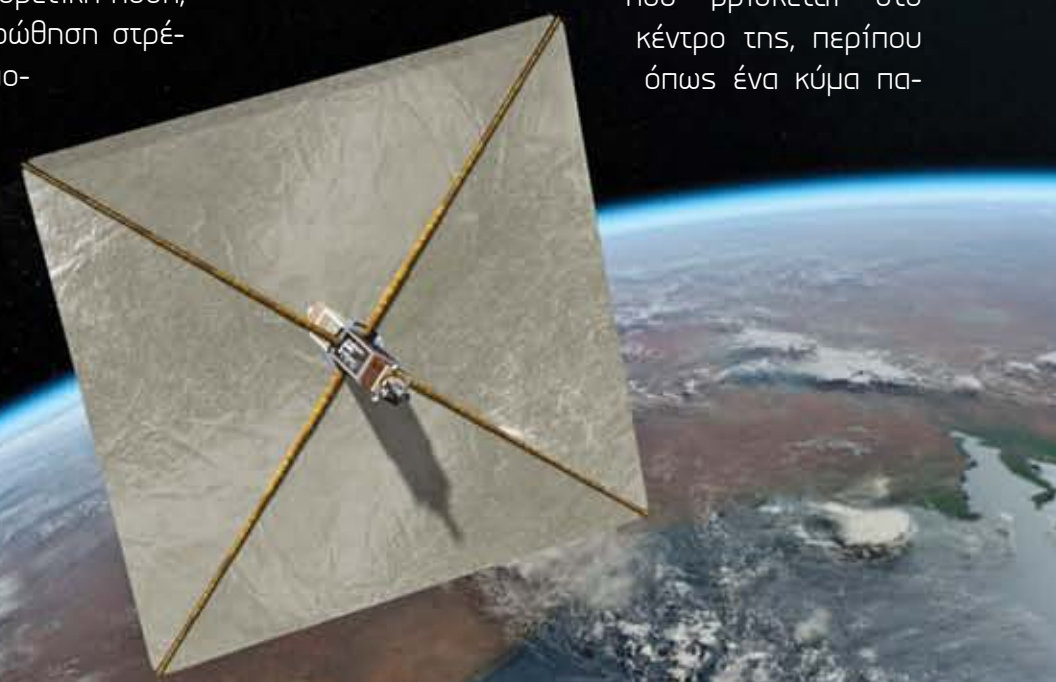
ων ποσοτήτων αντιύλης είναι ακόμη πάρα πολύ μακριά, αφού προς το παρόν μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο στις τεράστιες ενέργειες που επιτυγχάνονται σε γιγάντιους σωματιδιακούς επιταχυντές, σαν κι αυτούς που είναι εγκατεστημένοι στο CERN. Όπως, μάλιστα, σημειώνεται στην ιστοσελίδα του CERN, ακόμα και εάν οι επιταχυντές του κορυφαίου αυτού ερευνητικού κέντρου χρησιμοποιούνταν αποκλειστικά για τη δημιουργία αντιύλης, δεν θα παρήγαγαν περισσότερο από περίπου 1 δισεκατομμυριοστό του γραμμαρίου τον χρόνο, ενώ για την παραγωγή ενός μόνο κιλού, το κόστος θα ανερχόταν σε 1.000 τρισεκατομμύρια ευρώ! Το δεύτερο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι πύραυλοι αντιύλης σχετίζεται με την αποθήκευση της αντιύλης, αφού η επαφή της με τα τοιχώματα ενός δοχείου αυτομάτως θα οδηγούσε στην εξαΰλωσή της. Στην πράξη και όσον αφορά στην ηλεκτρικά φορτισμένη αντιύλη, το πρόβλημα αυτό παρακάμπτεται με τη βοήθεια ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων, που την «εξαναγκάζουν» να αιωρείται, χωρίς να έρχεται σε επαφή με τα τοιχώματα του δοχείου.

Η χρήση ηλιακών ιστίων, από την άλλη, φαντάζει πιο «υλοποιήσιμη». Η ιδέα είναι σχετικά απλή και χρησιμοποιεί ως «καύσιμο» την πίεση της ακτινοβολίας που εκπέμπει ο Ήλιος, αλλά και κάθε άλλο άστρο, γεγονός που παρακάμπτεται και την ανάγκη αποθήκευσης των απαραίτητων καυσίμων. Η αρχή λειτουργίας των ηλιακών ιστίων βασίζεται σ' ένα γνωστό φαινόμενο, σύμφωνα με το οποίο τα φωτόνια της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που προσπίπτουν στην επιφάνεια

ενός λεπτού καθρέφτη, ανακλώνται προς τα πίσω, μεταφέροντας μέρος της ορμής τους στον καθρέφτη, ο οποίος μπορεί έτσι να κινηθεί προς τα μπρος. Εάν, λοιπόν, ήταν δυνατόν να κατασκευαστεί ένα μεγάλης επιφάνειας και υπέρλεπτο «ιστίο-καθρέφτης», η πίεση που θα ασκούσε σ' αυτό η ακτινοβολία των άστρων θα ήταν αρκετή, προκειμένου να επιταχύνει σε βάθος χρόνου μια διαστημοσυσσκευή σε μεγάλες ταχύτητες, κάτι που θεωρητικά τουλάχιστον, θα μπορούσε να επιτευχθεί και με τη χρήση ενεργητικών ακτίνων laser. Το 2014, μάλιστα, η NASA σκοπεύει να εκτοξεύσει ένα τέτοιο πειραματικό ηλιακό ιστίο, συνολικής επιφάνειας 1.200 m<sup>2</sup>.

Ο Μεξικανός θεωρητικός φυσικός Miguel Alcubierre προτείνει μια εντελώς διαφορετική λύση, που παραπέμπει στη θρυλική «προώθηση στρέβλωσης» (warp drive) του διαστημολοίου Enterprise και η οποία, θεωρητικά τουλάχιστον, «υπόσχεται» την επίτευξη υπερφωτεινών ταχυτήτων. Σύμφωνα μ' αυτή την ιδιαιτέρως «εξωτική» μέθοδο προώθησης, το απαράβατο όριο που θέτει η Ειδική θεωρία της Σχετικότητας, αναφορικά με τη μέγιστη επιτρεπτή

ταχύτητα με την οποία μπορεί να κινηθεί ένα υλικό σώμα, φαίνεται να παρακάμπτεται. Γιατί, σύμφωνα με τη Γενική θεωρία της Σχετικότητας, αυτό το «απαράβατο» όριο ισχύει για υλικά σώματα και πληροφορίες και όχι για τον ίδιο τον χωροχρόνο. Η λύση των εξισώσεων του Αϊνστάιν, που ανακάλυψε ο Alcubierre, προβλέπει τη δημιουργία μιας «φουσαλίδας» στην ίδια την υφή του χωροχρόνου, με τη παράξενη ιδιότητα να διαστέλλει τον χωροχρόνο πίσω της και να τον συστέλλει κατά τη διεύθυνση της κίνησής της, με ταχύτητα που μπορεί και να υπερβαίνει και αυτήν ακόμη του φωτός. Μια τέτοια χωροχρονική φουσαλίδα, καθώς θα «διαδίδεται» στον χωροχρονικό ιστό του Σύμπαντος με υπερφωτεινές ταχύτητες, θα «παρασέρνει» και κάθε διαστημόπλοιο που βρίσκεται στο κέντρο της, περίπου όπως ένα κύμα πα-



Καλλιτεχνική αναπαράσταση ηλιακού ιστίου (Space Junk 3D, LLC).

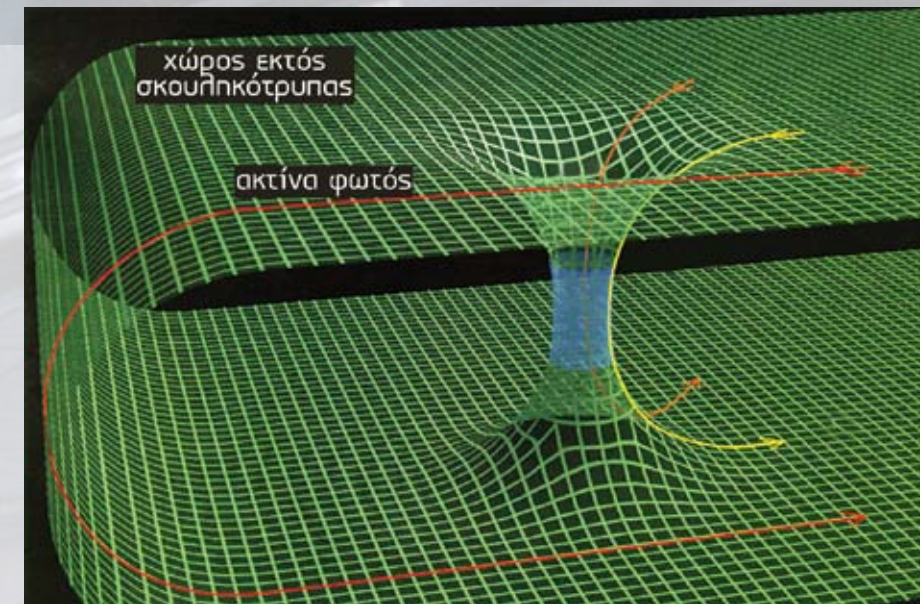
ρασέρνει έναν σέρφερ. Την ίδια στιγμή, όμως, το θεμελιώδες αξίωμα της Ειδικής Θεωρίας της Σχετικότητας θα διατηρείται «αλώβητο», αφού το διαστημόπλοιο θα παραμένει ακίνητο στο εσωτερικό της. Η απαίτηση της ύπαρξης μεγάλων ποσοτήτων αρνητικής ενέργειας είναι ένα μόνο από τα πολλά και μεγάλα θεωρητικά προβλήματα που αντιμετωπίζει αυτή η ευφάνταστη, αλλά εντούτοις, εντελώς ανεφάρμοστη ιδέα.

Άλλοι θεωρητικοί φυσικοί υποστηρίζουν ότι η μετακίνηση ενός διαστημοπλοίου από το ένα σημείο

του Διαστήματος στο άλλο θα μπορούσε να επιτευχθεί, όχι μέσω υπερφωτεινών ταχυτήτων, αλλά «απλούστατα» ακολουθώντας έναν συντομότερο δρόμο. Φανταστείτε, για παράδειγμα, ότι επιθυμείτε να ταξιδέψετε από ένα σημείο της υδρογείου προς το αντιδιαμετρικό του σημείο, κινούμενοι όπως είναι φυσικό πάνω στην επιφάνεια του πλανήτη μας. Εάν, όμως, επιχειρούσατε το ίδιο ταξίδι, διαμέσου μιας υποθετικής ευθύγραμμης σήραγγας, που θα ένωνε τις 2 αυτές αντιδιαμετρικές τοποθεσίες, το ταξίδι σας θα γινόταν αυτομάτως αρκετά συντομότερο, αφού θα διασχίζατε μικρό-



Το «θρυλικό» διαστημόπλοιο Enterprise.



Η διαδρομή που θα ακολουθούσε ένα διαστημόπλοιο διαμέσου μίας σκουληκό-τρυπας θα ήταν πολύ συντομότερη απ' αυτήν που θα ακολουθούσε το φως εκτός της σκουληκότρυπας.

τερη απόσταση. Τηρουμένων των αναλογιών, το ίδιο εικάζεται ότι ισχύει και στο Διάστημα. Γιατί, όπως πρώτοι έδειξαν οι Αϊνστάιν και Rosen το 1935, δύο οποιαδήποτε σημεία στο Σύμπαν ενώνονται μεταξύ τους και από έναν δεύτερο «δρόμο», συντομότερο απ' αυτόν που ακολουθεί το φως. Η συντομότερη αυτή οδός, που ονομάζεται **σκουληκότρυπα** ή **Γέφυρα Αϊνστάιν-Rosen** θα μπορούσε θεωρητικά να χρησιμοποιηθεί από ένα διαστημόπλοιο, το οποίο θα μετακινούνταν ταχύτατα από το ένα σημείο στο άλλο, όχι επειδή κινείται με ταχύτητα μεγαλύτερη απ' αυτήν του φωτός, αλλά επειδή θα «έκοβε δρόμο».

Σύμφωνα, όμως, με τις έως τώρα μελέτες, οι σκουληκότρυπες θεωρούνται ότι είναι εξαιρετικά ασταθείς και ότι θα κατέρρεαν πολύ ταχύτερα απ' όσο χρόνο θα χρειαζόταν ένα διαστημόπλοιο

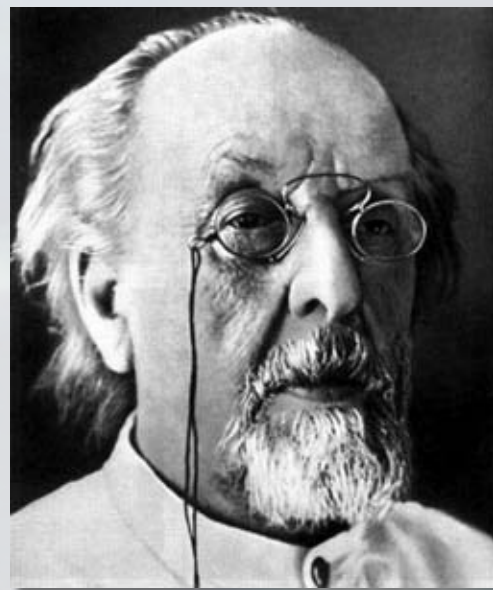
προκειμένου να τις διασχίσει. Το μόνο που θα εμπόδιζε την καταστροφική «ενδόρρηξη» μιας σκουληκότρυπας πάνω στο ίδιο το διαστημόπλοιο που θα επιχειρούσε να τη διασχίσει, είναι η επονομαζόμενη «εξωτική ύλη», μια υποθετική μορφή ύλης με αρνητική ενέργεια. Παρόλο που δεν υπάρχει η παραμικρή ένδειξη της ύπαρξης αυτών των παράξενων τοπολογικών δομών του χωροχρόνου, οι σκουληκότρυπες αποτελούν ίσως την πιο «ακραία» και παράξενη πρόβλεψη της Γενικής θεωρίας της Σχετικότητας. Όμως, παρόλο που αποτελούν μαθηματικές λύσεις των εξισώσεων του Αϊνστάιν, η ύπαρξή τους αμφισβητείται.

Απ' όσα είπαμε ως τώρα, είναι εμφανές ότι με τις υπάρχουσες επιστημονικές μας γνώσεις και με την υπάρχουσα τεχνολογία, τα διαστρικά ταξίδια

είναι απαγορευτικά. Από την άλλη βέβαια, καλό θα ήταν να θυμόμαστε ότι αντίστοιχα «εξωφρενικές» θεωρούνταν κάποτε και οι επανδρωμένες πτήσεις στη Σελήνη, ή ακόμη και το ταξίδι με αεροπλάνο. Γιατί, κανείς δεν γνωρίζει με βεβαιότητα πού θα μας οδηγήσει η επιστημονική έρευνα και η τεχνολογική πρόοδος τις επόμενες χιλιετίες. Είναι χαρακτηριστικό, μάλιστα, ότι καθόλη την διάρκεια της εξέλιξης των ιδεών στις φυσικές επιστήμες πολλοί μεγάλοι επιστήμονες είχαν κατά καιρούς ισχυριστεί ότι «το τέλος της φυσικής πλησιάζει» και ότι σύντομα θα γνωρίζαμε όλα όσα ήταν δυνατό να γνωρίζουμε για το Σύμπαν. Στα 1894, για παράδειγμα, ο **Albert Michelson** υποστήριζε ότι οι σημαντικότεροι από τους θεμελιώδεις νόμους που διέπουν το Σύμπαν, έχουν ανακαλυφθεί, και η πιθανότητα να εκτοπιστούν μέσα από νέες ανακαλύψεις είναι αμελητέα. Στο ίδιο μήκος κύματος κινήθηκε και ο **Max Born**, υποστηρίζοντας το 1928 ότι η «**φυσική, όπως τη γνωρίζουμε, θα έχει τελειώσει σε 6 μήνες**». Ακόμη και ο Steven Hawking, όταν το 1980 του απονεμήθηκε η Λουκασιανή έδρα στο Πανεπιστήμιο του Κέιμπριτζ, στην εναρκτήρια ομιλία του υποστήριζε το ίδιο. Πόσο λάθος αποδείχτηκε ότι είχαν! Γιατί κάθε φορά, ερχόταν μια «μικρή ανακάλυψη» που αποδείκνυε το μέγεθος της άγνοιάς μας.

Με την αυγή του 20<sup>ου</sup> αιώνα και παράλληλα με την προσπάθεια να αποκρυπτογραφηθούν οι νόμοι που διέπουν τη λειτουργία του Σύμπαντος, άρχισε να αναπτύσσεται έντονα και το ενδιαφέρον για την εξερεύνησή του.

Οι επανδρωμένες αποστολές στη Σελήνη και οι διαστημοσυσκευές που στείλαμε στα πέρατα του Ηλιακού μας Συστήματος αποτελούν αδιάψευστους μάρτυρες της δίψας μας να απελευθερωθούμε από τα στενά δεσμά του πλανήτη μας. Απ' ό,τι φαίνεται, μάλιστα, σε μερικά χρόνια η κατασκευή μόνιμων βάσεων στον φυσικό μας δορυφόρο δεν θα είναι επιστημονική φαντασία αλλά επιστημονική πραγματικότητα. Και ήδη, με-

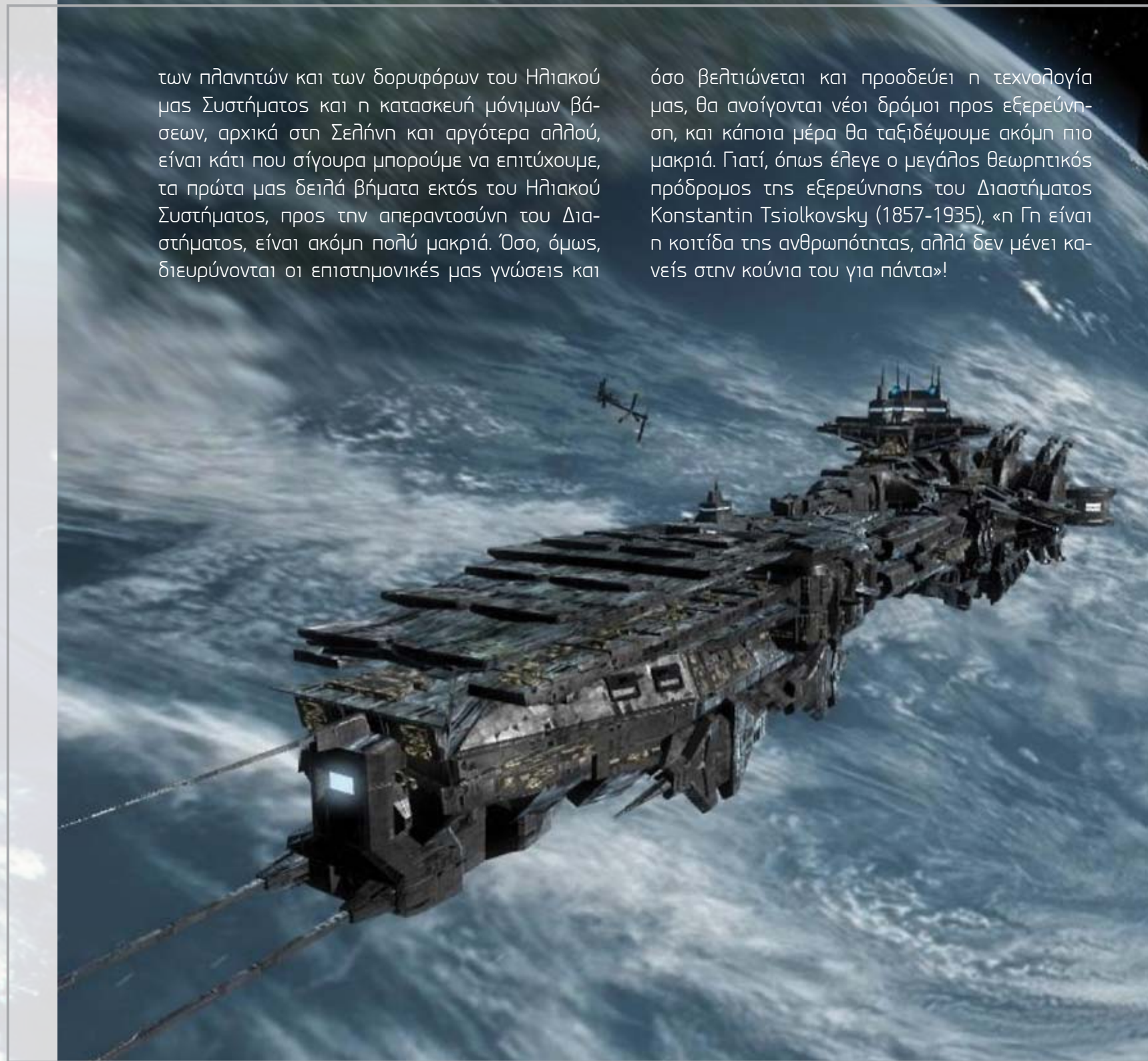


*Ο Konstantin Tsiolkovsky, Ρώσος επιστήμονας της θεωρητικής αστροναυτικής.*

γάλλες διαστημικές υπηρεσίες επεξεργάζονται σχέδια για την πρώτη επανδρωμένη αποστολή στον Άρη. Πού θα μας οδηγήσει, όμως, αυτή η συναρπαστική περιπέτεια του Διαστήματος; Κανείς δεν το γνωρίζει ακόμη με βεβαιότητα. Γιατί, αν υποθέσουμε ότι η επανδρωμένη εξερεύνηση

των πλανητών και των δορυφόρων του Ηλιακού μας Συστήματος και η κατασκευή μόνιμων βάσεων, αρχικά στη Σελήνη και αργότερα αλλού, είναι κάτι που σίγουρα μπορούμε να επιτύχουμε, τα πρώτα μας δειλά βήματα εκτός του Ηλιακού Συστήματος, προς την απεραντοσύνη του Διαστήματος, είναι ακόμη πολύ μακριά. Όσο, όμως, διευρύνονται οι επιστημονικές μας γνώσεις και

όσο βελτιώνεται και προοδεύει η τεχνολογία μας, θα ανοίγονται νέοι δρόμοι προς εξερεύνηση, και κάποια μέρα θα ταξιδέψουμε ακόμη πιο μακριά. Γιατί, όπως έλεγε ο μεγάλος θεωρητικός πρόδρομος της εξερεύνησης του Διαστήματος Konstantin Tsiolkovsky (1857-1935), «η Γη είναι η κοιτίδα της ανθρωπότητας, αλλά δεν μένει κανείς στην κούνια του για πάντα!»



## Βιβλιογραφία

- ☆ Οικονόμου, Ελευθέριος Ν., *Από τα κουάρκ μέχρι το Σύμπαν: μια σύντομη περιήγηση*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, 2012.
- ☆ Σιμόπουλος, Διονύσης, Π., *Η γέννηση των άστρων*, Αθήνα: Ερευνητές, 1996.
- ☆ Σιμόπουλος, Διονύσης, Π., *Ο θάνατος των άστρων*, Αθήνα: Ερευνητές, 1997.
- ☆ Σιμόπουλος, Διονύσης, Π., *Μαύρες τρύπες: οδηγός παράστασης*, Αθήνα: Ίδρυμα Ευγενίδου. Πλανητάριο, 2006.
- ☆ Asimov, Isaac, *Η γέννηση και ο θάνατος των άστρων*, Αθήνα: Κέδρος, c 1992.
- ☆ Barrow, John D., *Η απαρχή του Σύμπαντος: περιήγηση στη μοντέρνα κοσμολογία*, Αθήνα: Κάτοπτρο, 1995.
- ☆ Barrow, John D., *The book of nothing: vacuums, voids and the latest ideas about the origins of the universe*, New York: Random House/Vintage, 2002.
- ☆ Brahic, Andre, *Τα παιδιά του Ήλιου: προέλευση, εξέλιξη και εξερεύνηση του ηλιακού συστήματος – και της ζωής*, Αθήνα: Κάτοπτρο, 2002.
- ☆ Cesarsky, Catherine, *Η περιπέτεια του Σύμπαντος: από τον Γαλιλαίο ως σήμερα*, Αθήνα: Δημοσιογραφικός Οργανισμός Λαμπράκη/Ελευθεροτυπία, 2009.
- ☆ Chaisson, Eric, McMillan, Stephen, *Astronomy: a beginner's guide to the universe*, Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Prentice Hall, c2004.
- ☆ Christensen, Lars Lindberg, Fosbury, R.A.E. και Hurt, Robert, *Hidden universe*, Weinheim, Germany: Wiley/VCH, c2009.
- ☆ Couper, Heather, Henbest, Nigel, *Μαύρες τρύπες*, Αθήνα: Καστανιώτης, 1997.
- ☆ Guth, Alan H., Lightman, Alan P., *The inflationary universe: the quest for a new theory of cosmic origins*, London: Jonathan Cape, 1997.
- ☆ Harrison, Edward Robert, *Cosmology : the science of the universe*, Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2000.
- ☆ Hawking, Stephen W., Mlodinow, Leonard, *Ένα συντομότερο χρονικό του χρόνου*, Αθήνα: Κάτοπτρο, 2005.
- ☆ Kaku, Michio, *Οράματα του μέλλοντος: η επιστημονική επανάσταση στον 21<sup>ο</sup> αιώνα*, Anubis, 2000.
- ☆ Kaler, James B., *Το μικρό βιβλίο των άστρων*, Αθήνα: Εκδόσεις Αλεξάνδρεια, 2006.
- ☆ Krauss, Lawrence M., *Σκοτεινή ύλη: η πεμπτουσία του Σύμπαντος*, Αθήνα: Τραυλός, 2005.
- ☆ Lincoln, Don, Kolb, Rocky, *Understanding the universe: from quarks to the cosmos*, New Jersey: World Scientific, 2004.
- ☆ Luminet, Jean-Pierre, *Ένα αστέρι πεθαίνει: μαύρες τρύπες, κόκκινοι γίγαντες και άσπροι νάνοι*, Αθήνα: Τραυλός, 2006.
- ☆ McNamara, Geoff, *Clocks in the sky: the story of pulsars*, Berlin: Springer; Chichester, UK: Praxis, c2008.
- ☆ Mitton, Jacqueline, *Αστέρια και πλανήτες*, Αθήνα: Σαββάλας, c2005.
- ☆ Oxlade, Chris, *Το μυστήριο που κρύβουν οι μαύρες τρύπες*, Αθήνα: Σαββάλας, c2004.
- ☆ Pecker, Jean-Claude, *The future of the sun*, New York: McGraw-Hill, 1992.
- ☆ Tayler, Roger J., *The stars: their structure and evolution*, Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- ☆ Tyson, Neil DeGrasse, *Death by black hole and other cosmic quandaries*, New York; London: Norton W.W. & Company, c2007.
- ☆ Unsold, Albrecht, Baschek, Bodo, *The new cosmos: an introduction to astronomy and astrophysics*, Berlin: Springer, 2001.
- ☆ Wheeler, J. Craig, *Cosmic catastrophes: exploding stars, black holes, and mapping the universe*, Cambridge University Press, c2007.

## Συντελεστές παράστασης

**αφήγηση**  
ΧΡΗΣΤΟΣ ΣΙΜΑΡΔΑΝΗΣ

**σκηνοθετική επιμέλεια**  
CARTER EMMART  
Journey to the Stars  
TERENCE MURTAGH  
Secret Lives of Stars

**σκηνοθετική προσαρμογή**  
ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΣΙΜΟΠΟΥΛΟΣ

**μουσική**  
ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ Κ. ΚΑΤΣΑΡΗΣ

**επιστημονική επιμέλεια & κείμενο αφήγησης**  
ΑΛΕΞΗΣ ΔΕΛΗΒΟΡΙΑΣ  
**executive producer**  
ΔΙΟΝΥΣΗΣ Π. ΣΙΜΟΠΟΥΛΟΣ

**διεύθυνση παραγωγής**  
ΜΑΝΟΣ ΚΙΤΣΩΝΑΣ

**σχεδιασμός & μίξη ήχου**  
ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ Κ. ΚΑΤΣΑΡΗΣ  
ΝΑΤΑΣΑ ΚΑΤΣΑΡΑ

**post-production rendering**  
ΓΙΩΡΓΟΣ ΜΑΥΡΙΚΟΣ

**fulldome technical support**  
ΦΙΛΙΠΠΟΣ ΛΟΥΒΑΡΗΣ  
ΧΡΗΣΤΟΣ ΧΡΗΣΤΟΓΙΩΡΓΟΣ  
ΓΙΑΝΝΗΣ ΒΑΜΒΑΚΑΣ

**graphic design**  
ΕΥΓΕΝΙΑ ΣΤΑΒΑΡΗ

**AMERICAN MUSEUM OF NATURAL HISTORY**

**producer**  
SARAH DOWLAND

**executive producer**  
ROSAMOND KINZLER

**director of engineering**  
BENJY BERNHARDT

**lead technical directors**  
DOUGLAS HARSCH  
JON PARKER

**chief video engineer**  
JEFF GALITZER

**technical directors**  
WES HOOVER  
ADITI KAPOOR

**camera animation**  
CARMINE LAIETTA  
DYLAN MAXWELL

**digital artists**  
ANTHONY PAITTI  
MARTIN BOKSAR  
ALEXANDRU POSTELNICU

**digital universe**  
BRIAN ABBOTT

**EVANS & SUTHERLAND**

**executive producer**  
KIRK JOHNSON

**post-production**  
MICHAEL DAUT

**animation director**  
DON DAVIS

**supervising animators**  
KEN CARLSON  
MARTY SISAM

**NATIONAL SPACE CENTRE**

**producers**  
MAX CROW

PAUL MOWBRAY  
ANDY GREGORY

**executive producer**  
KRIS McCALL

**computer animation & design**  
AARON BRADBURY  
PHILIP DAY

**computer graphics & 3D animation services**  
AMERICAN MUSEUM OF NATURAL HISTORY  
New York City, NY

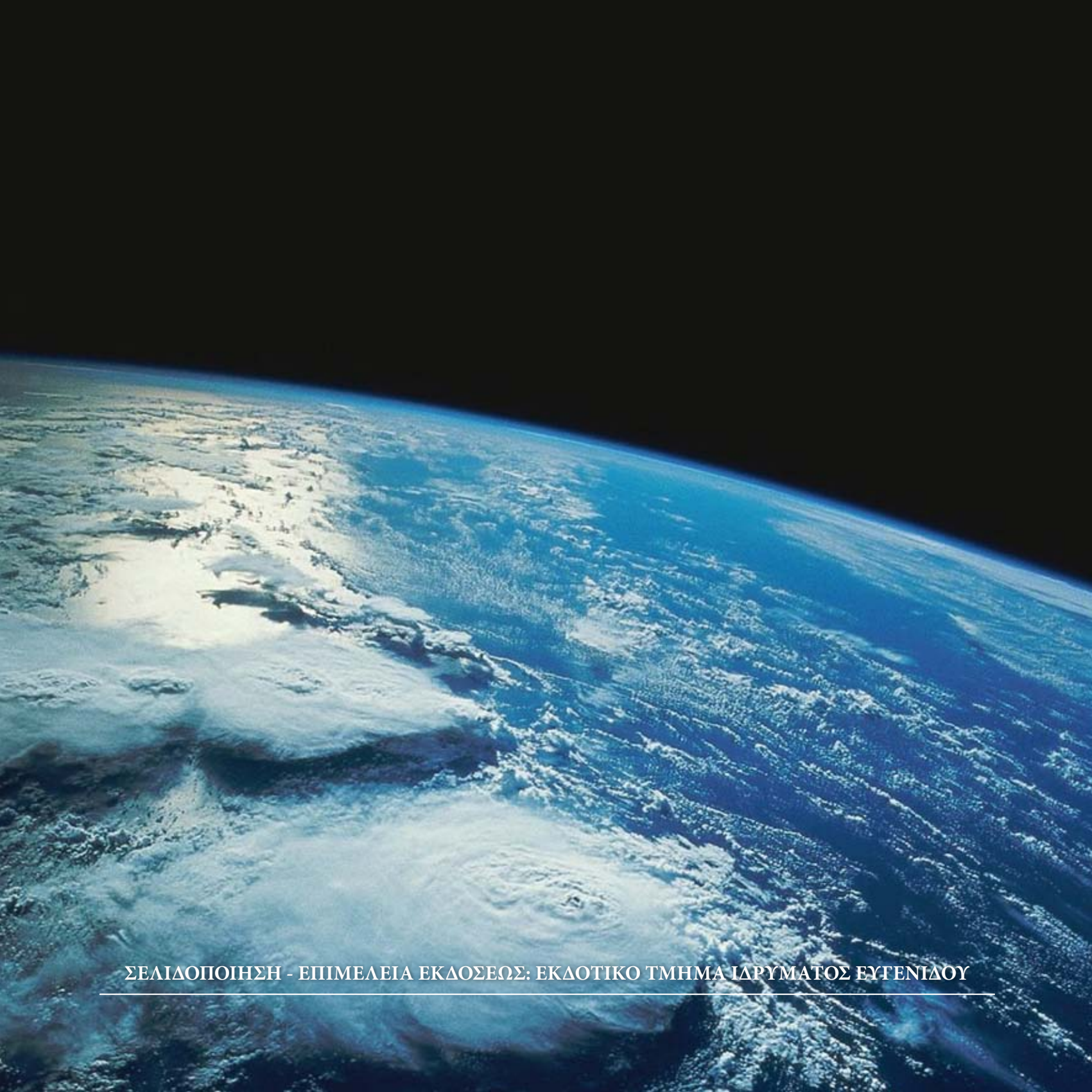
EVANS & SUTHERLAND  
Salt Lake City, Utah  
NATIONAL SPACE CENTRE  
Leicester, UK

**fulldome & post-production video services**  
ΕΥΓΕΝΙΔΕΙΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ

**post-production audio services**  
STARGAZER AUDIO  
Ιδρύματος Ευγενίδου

**θερμές ευχαριστίες**  
EUROPEAN SPACE AGENCY  
NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION

**παραγωγή**  
ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ  
© 2013



ΣΕΛΙΔΟΠΟΙΗΣΗ - ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ ΕΚΔΟΣΕΩΣ: ΕΚΔΟΤΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΤΕΝΙΔΟΥ

---