

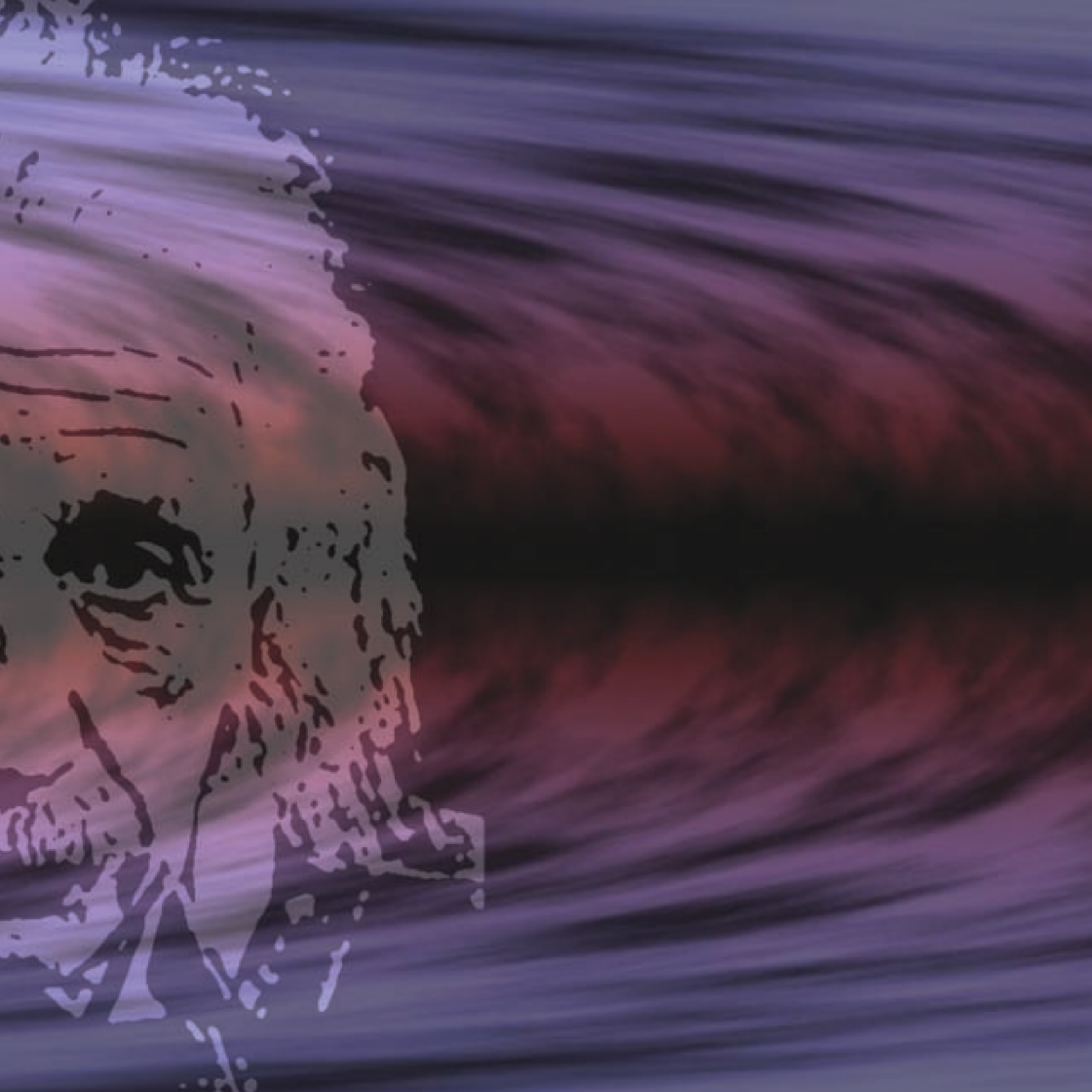


ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ  
ΝΕΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ

Οδηγός Παράστασης

# ΜΑΥΡΕΣ ΤΡΥΠΕΣ

ΔΙΟΝΥΣΗΣ Π. ΣΙΜΟΠΟΥΛΟΣ  
Διευθυντής Ευγενιδείου Πλανηταρίου





ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Νέο Ψηφιακό Πλάνητάριο

Οδηγός Παράστασης


# ΜΑΥΡΕΣ ΤΡΥΠΕΣ

ΔΙΟΝΥΣΗΣ Π. ΣΙΜΟΠΟΥΛΟΣ

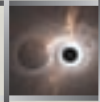
Διευθυντής Ευγενιδείου Πλάνητάριου

ΑΘΗΝΑ  
2006

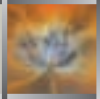
# Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

	πρόλογος .....	4
	εισαγωγή: Κοσμοσύνδεση .....	6
	1. η στάσιτη των άστρων .....	12
	2. η αρχή του τέλους .....	20
	3. ένα τέλος και μία αρχή .....	28
	4. οι φάροι του Διαστήματος .....	36
	5. χώρος, χρόνος και βαρύτητα .....	44
	6. παρατηρώντας το Σύμπαν με τα "μάτια" του Αϊνστάιν Κύστα Κόκκοτα .....	52

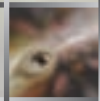




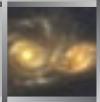
7. οι πύλες της κόλασης ..... 62



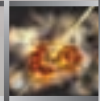
8. δαιμονικά πουλιά του Σύμπαντος ..... 70



9. το τέρας του γαλαξιακού κέντρου ..... 78



10. πιάνιες συγκρούσεις ..... 86



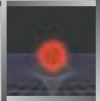
11. αστρομόρφα αντικείμενα ..... 96



επίλογος: Κόσμοι παράλληλοι ..... 104



ενδεικτική βιβλιογραφία ..... 109



συντελεστές της παράστασης ..... 110

# Π Ρ Ο Λ Ο Γ Ο Σ

Η δημιουργία μιας σύγχρονης παράστασης Πλανηταρίου απαιτεί προετοιμασία δύο περίπου ετών προκειμένου να υλοποιηθεί. Η προετοιμασία όμως της νέας παράστασης του Πλανηταρίου με τίτλο «Μαύρες Τρύπες» ξεκίνησε πολύ νωρίτερα, από το 1993, και μάλιστα μετά από προτροπή ενός αστροναύτη! Ας εξηγηθώ όμως καλύτερα.

Εκείνο το βράδυ της 12<sup>ης</sup>-13<sup>ης</sup> Αυγούστου του 1993 ψηλά στον ουρανό ήταν απλωμένα, όπως χιλιάδες χρόνια τώρα, τ' άστρα του καλοκαιριού. Λίγα μόνο σύννεφα σκέπαζαν κάπου-κάπου το λαμπροφωρεμένο πέπλο των αστερισμών. Το Αιγαίο ήταν στις καλές του, καθώς το καλλιγράμμο σκαρί του «Stella Solaris» έσκιζε απαλά τα ήρεμα νερά του. Πάνω από 300 άτομα ήταν ξαπλωμένα στις πολυθρόνες του καταστρώματος και άκουγαν προσεχτικά τις εμπειρίες του Αμερικανού αστροναύτη Scot Carpenter. Όλοι σχετίζονταν με τον ένα ή με τον άλλο τρόπο με την παρατηρησιακή αστρονομία και όλοι αναμέναμε να παρατηρήσουμε το μεγάλο γεγονός της καταιγίδας των Περιίδων, μιας ετήσιας βροχής διαπτώτων, που εκείνη τη χρονιά αναμενόταν να είναι ιδιαίτερα θεαματική.

Μαζί με τον Scot και έναν ακόμη νεότερο αστροναύτη, τον Ron Parise, ο οποίος αργότερα, το Μάρτιο του 1995, «πέταξε» για δεύτερη φορά στο Διάστημα, είχαμε αναλάβει να «ξεναγήσουμε» τους συμμετέχοντες στην κρουαζιέρα στα μυστικά μονοπάτια των άστρων. Γι' αυτόν το σκοπό είχαμε χωρίσει τη νύχτα σε τρεις «βάρδιες». Ο Scot είχε αναλάβει την πρώτη βάρδια, από τα μεσάνυχτα μέχρι τις 2, εγώ από τις 2 μέχρι τις 4 και ο Ron από τις 4 έως τα ξημερώματα. Μέχρι την ώρα που ανέλαβα εγώ την ξενάγηση οι Περιίδες ήσαν μεν σε κάποια έξαρση, χωρίς όμως κάποια θεαματική παρουσία. Το κυρίως φαινόμενο αναμενόταν γύρω στις 3 και η ώρα ήταν ακόμη 2. Με τον αστερισμό του Κύκνου να λάμπει στον ουρανό είχα τη διέξοδο για το θέμα της παρουσίας που θα έκανα. Γιατί ανάμεσα στ' άστρα του Κύκνου

είναι κρυμμένο το πιο παράξενο θηρίο στο ζωολογικό κήπο τ' ουρανού: μια Μαύρη Τρύπα.

Στο κατάστρωμα οι «καταιγιστικές» ερωτήσεις των συμμετεχόντων είχαν θερμάνει κάπως τη θαλασσινή ατμόσφαιρα. Αλλά δυστυχώς το αναμενόμενο σπουδαίο γεγονός της καταιγίδας των διαπτώτων δεν είχε εμφανιστεί στην έξαρση που περιμέναμε. Γύρω στις 4 το πρωί κι αφού ο Ron Parise είχε αναλάβει ήδη την «ξενάγηση», ο Scot Carpenter μου είπε μισο-ασεΐα μισο-σοβαρά: *«Έχεις σκεφτεί άραγε να γράψεις κανένα βιβλίο για το θέμα; Από τις ερωτήσεις που σου έθεσαν φαίνεται ότι το θέμα ενδιαφέρει πολύ τον κόσμο»*. Αυτή η αυθόρμητη ερώτηση αποτέλεσε το πρώτο ερέθισμα για τη συγγραφή ενός άρθρου που αργότερα θα γινόταν η βάση ενός σεναρίου για το Πλανητάριο. Και πραγματικά, η ιδέα και τα πρώτα κείμενα του σεναρίου αυτής της παράστασης, καθώς και πολλά τμήματα του Οδηγού που κρατάτε στα χέρια σας, γράφτηκαν κυριολεκτικά ανάμεσα σε δύο συνέδρια και δύο κρουαζιέρες, στα μέσα της δεκαετίας του 1990, αν και όλα αυτά τα χρόνια έχουν πάρει διάφορες μορφές!

Θα 'θελα, πάντως, να επισημάνω εξ αρχής ότι το κείμενο που ακολουθεί απέχει πολύ από του να είναι μια «πραγματεία» για τις Μαύρες Τρύπες, αφού δεν αποτελεί παρά μια απλή παρουσίαση του θέματος, στα χνάρια των παρόμοιων Οδηγών που δημοσιεύτηκαν μέχρι τώρα στα πλαίσια των προηγούμενων παραστάσεων του Πλανηταρίου, μιας και το σενάριο μιας παράστασης, η αφήγησή της, καθώς και ο Οδηγός που τη συνοδεύει, δεν αποτελούν παρά μια σύντομη και εκλαϊκευμένη παρουσίαση των θεμάτων, στα οποία αναφέρεται κι όχι μία πλήρης «πανεπιστημιακή διατριβή». Γι' αυτό, άλλωστε, και ο κύριος σκοπός των Οδηγών που προηγήθηκαν, όπως και αυτού που κρατάτε στα χέρια σας, δεν είναι άλλος από το να προσφέρει απλώς περισσότερες πληροφορίες, ώστε να καταστεί καλύτερα κατανοητό το περιεχόμενο της κάθε παράστασης, αφού δεν είναι δυνατόν



να δώσουμε όλες τις πιθανές απαντήσεις και πληροφορίες, που ίσως κάποιος θα ήθελε να μάθει γύρω από τα θέματα που πραγματεύεται μια παράσταση. Γι' αυτό άλλωστε στο τέλος του Οδηγού παραπέμπουμε σε ενδεικτική βιβλιογραφία απ' όπου ο αναγνώστης θα μπορέσει να αντλήσει περισσότερες, σχετικές, πληροφορίες.

Όπως και στις προηγούμενες παραστάσεις του Νέου Ψηφιακού Πλανηταρίου του Ιδρύματος Ευγενίδου, το ίδιο και στην παρούσα, η «από καθέδρας» παρουσίαση και διάδοση των νέων γνώσεων έχει αντικατασταθεί από μια παρουσίαση «ψυχαγωγικής επιμόρφωσης», που είναι γνωστή με το διεθνή όρο *edutainment* ή *educational entertainment*. Μ' αυτόν τον τρόπο η μεγάλη ποικιλία θεμάτων στον τρισδιάστατο χώρο του Πλανηταρίου, κερδίζει τη συμμετοχή των θεατών του, οι οποίοι «ψυχαγωγούνται» (με όλη τη σημασία της λέξης) μαθαίνοντας. Μετά από 50 χρόνια εξέλιξης, άλλωστε, το Νέο Ψηφιακό Πλανητάριο έχει μεταμορφωθεί σ' ένα ευέλικτο διεπιστημονικό κέντρο παρουσιάσεων που υπηρετεί όχι μόνο τις επιστήμες, αλλά και τις τέχνες και απευθύνεται σ' ένα ευρύτατο κοινό ανεξαρτήτου ηλικίας και μορφωτικού επιπέδου. Οι δημιουργικές και τεχνικές δυνατότητες, που παρέχουν σήμερα τα οπτικοακουστικά μέσα και οι νέες τεχνολογίες, συνδυαζόμενες μας επιτρέπουν να αφηγηθούμε την ιστορία της επιστήμης με τρόπο συναρπαστικό. Πρόκειται δηλαδή για ένα επιστημονικό κέντρο με τη σημαντική αποστολή να γνωστοποιήσει τα επιτεύγματα της επιστήμης στο ευρύ κοινό με απλό, σαφή και κατανοητό τρόπο αλλά και να δια φωτίσει τον κόσμο σχετικά με τη φύση της επιστημονικής έρευνας και της επιστήμης.

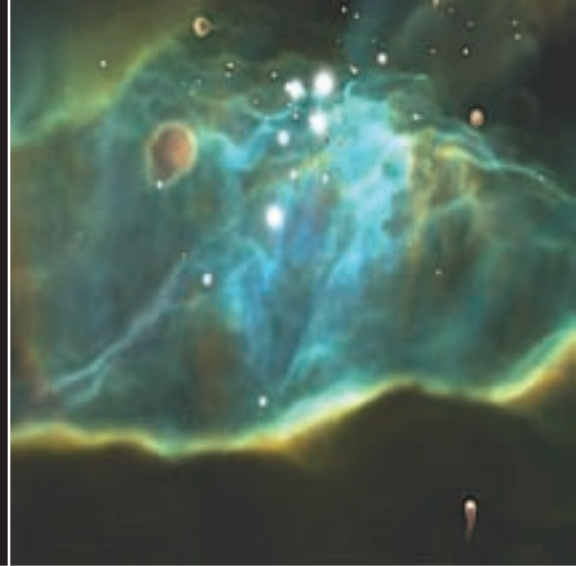
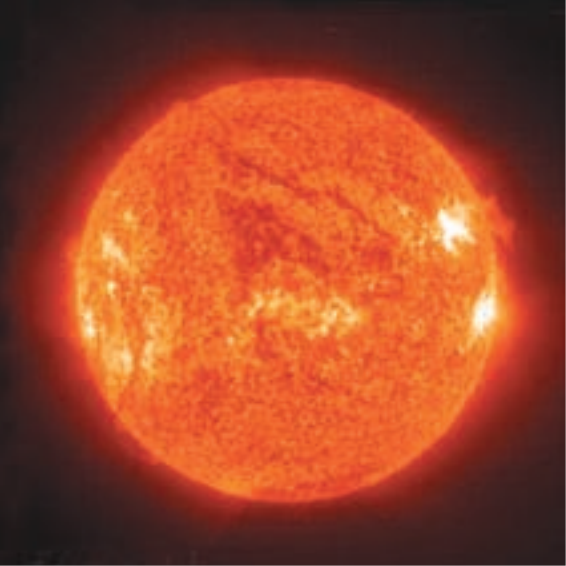
Στο παλαιό Πλανητάριο, φυσικά, δεν είχαμε τη δυνατότητα να αναπτύξουμε ένα θέμα όπως είναι οι Μαύρες Τρύπες, γι' αυτό περιοριζόμασταν σε σύντομες μόνο αναφορές σ' αυτό, αφού η υπάρχουσα, τότε, τεχνολογία δεν μπορούσε να παρουσιάσει με τρόπο κατανοητό τις ανακαλύψεις των θεωρητικών και παρατηρησιακών αστροφυσικών. Οι υπερσύγχρονες όμως εγκαταστάσεις του Νέου Ψηφιακού Πλανηταρίου μας έδωσαν επί τέλους τις δυνατότητες που χρειαζόμασταν. Επιπλέον τα τελευταία χρόνια,

με την αλματώδη ανάπτυξη των υπολογιστών, αποκτήσαμε τη δυνατότητα να μεταμορφώνουμε τις εξισώσεις των επιστημόνων σε «εικόνες».

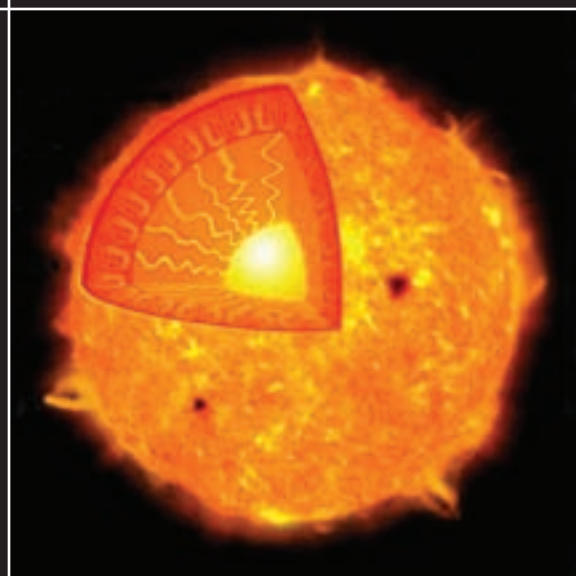
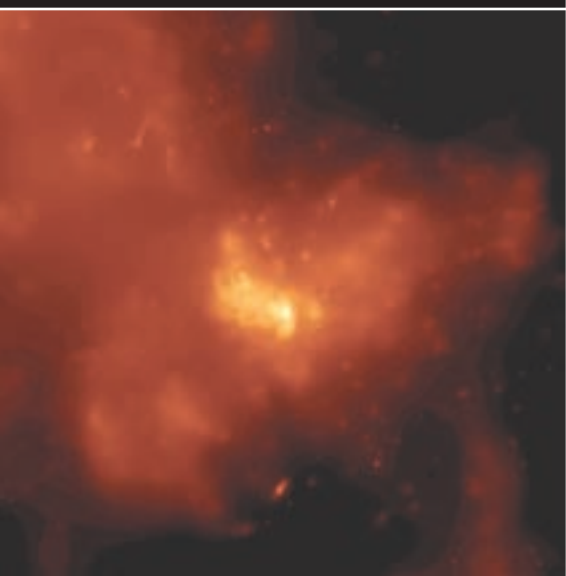
Με την ανάπτυξη λοιπόν της τεχνολογίας και την οικονομική υποστήριξη της NASA και του Εθνικού Ιδρύματος Επιστημών των ΗΠΑ (που διέθεσαν 1,5 σχεδόν εκατομμύριο δολάρια γι' αυτήν την προσομοίωση) τα ψηφιακά πλανητάρια του κόσμου έχουν πλέον τη δυνατότητα να «δείξουν» στο ευρύ κοινό όλα όσα συμβαίνουν στο εσωτερικό μιας διαστημικής «ρουφήχτρας», από την οποία ούτε κι αυτό ακόμη το φως δεν μπορεί να δραπετεύσει, προσομοιώνοντας στον τεράστιο θόλο του Νέου Ψηφιακού Πλανηταρίου ένα καταπληκτικό ταξίδι στα απύθμενα βάθη μιας Μαύρης Τρύπας! Αρκεί να αναφέρουμε εδώ ένα μόνο στοιχείο: ορισμένες από τις προσομοιώσεις που παρουσιάζονται στη διάρκεια της 40λεπτης παράστασής μας οι υπερυπολογιστές του Εθνικού Κέντρου Υπερυπολογιστικών Εφαρμογών στο Πανεπιστήμιο του Ιλινόις, για να επεξεργαστούν τους αριθμούς των εξισώσεων, χρειάστηκε να δουλέψουν 90 ώρες για κάθε δευτερόλεπτο απεικόνισης που εμφανίζεται στον πλανηταριακό θόλο!

Κλείνοντας το σημείωμα αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους καθηγητές αστροφυσικής Κώστα Κόκκοτα του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Νικόλαο Μαυρόματο του Πανεπιστημίου του Λονδίνου - King's College, Γιάννη Παπαμαστοράκη του Πανεπιστημίου Κρήτης και Δημήτρη Ψάλη του Πανεπιστημίου Αριζόνας για τις αξιόλογες παρατηρήσεις τους στα αρχικά κείμενα του παρόντος Οδηγού. Τέλος, δεν μπορώ να μην ευχαριστήσω εκ βαθέων τους συναδέλφους του Εκδοτικού Τμήματος του Ιδρύματος Ευγενίδου, οι οποίοι για μιαν ακόμη φορά επιμελήθηκαν με ιδιαίτερη φροντίδα την έκδοση αυτού του Οδηγού.

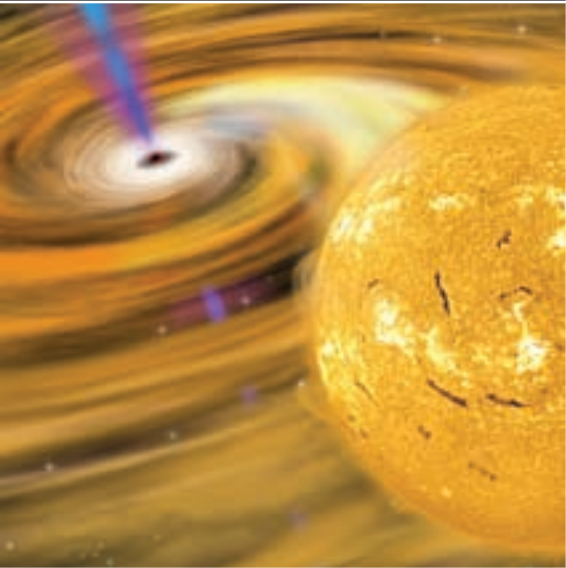
Διονύσιος Π. Σιμόπουλος  
Διευθυντής Ευγενιδείου Πλανηταρίου



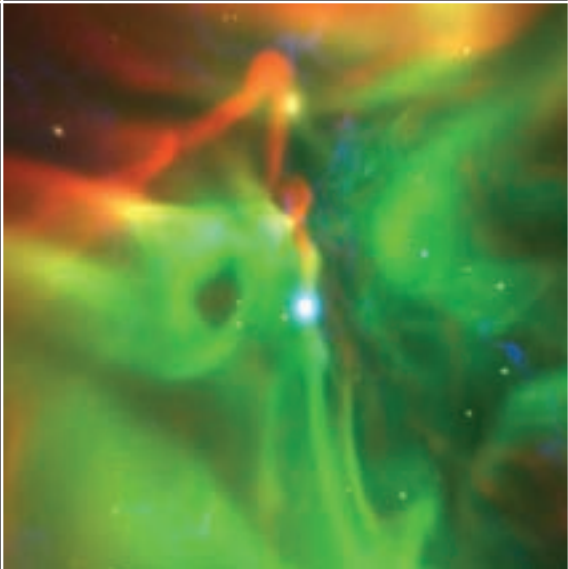
εισαγωγή:  
Κοσμοσύνδεση







Είμαστε όλοι μας αστροσκοπη!



Ελάχιστοι άνθρωποι είναι αυτοί, που αενίζοντας τον αστροφώτιστο νυχτερινό ουρανό, δεν αναρωτήθηκαν κάποτε για το Σύμπαν που μας περιβάλλει. Χιλιάδες ερωτήσεις έχουν τεθεί κατά καιρούς, από τους πρωτόγονους νομάδες μέχρι τους σύγχρονους αστρονό-

μους και αστροφυσικούς. Και όλες, οι μυριάδες αυτές των ερωτήσεων, μπορούν να συμπυκνωθούν σε μια και μοναδική:

***Τι, άραγε, υπάρχει εκεί έξω; Ή ακόμη πιο απλά: Από τι αποτελείται το Σύμπαν;***



Το μεγαλύτερο μέρος του Σύμπαντος αποτελείται από το τίποτα. Ένα ελάχιστο μόνο ποσοστό του περιλαμβάνει την ύλη την οποία βλέπουμε. Οτιδήποτε υλικό είναι φτιαγμένο από άτομα. Και όλα αυτά τα άτομα, όλα τα συστατικά της Γης, κάθε άτομο βράχων ή λου-

λουδιών, φωτιάς, σύννεφου ή θάλασσας γεννήθηκε προηγουμένως σε κάποιους άλλους ήλιους, κάποιες αρχέγονες εποχές. Όπως κι εμείς, άλλωστε. Γιατί κι εμείς δεν είμαστε παρά μέρος της πρωτόγονης εκείνης ύλης, που αρχικά δημιουργήθηκε με τη βίαιη



γέννηση του Σύμπαντος. Η ύλη που αποτελεί τα σώματά μας «κίνησε» και ανασχηματίστηκε στην καρδιά γιγάντιων κόκκινων άστρων. Ύλη που δημιουργήθηκε από στοιχεία τα οποία εκσφενδονίστηκαν στο διαστημικό κενό από εκρήξεις σουπερνόβα.

Γι' αυτό άλληλωστε είμαστε όλοι μας αστροσκοπή.

Το ανθρώπινο σώμα αποτελείται από χίλια τρισεκατομμύρια τρισεκατομμυρίων άτομα. Ψηφιακά ο αριθμός αυτός είναι ίσος με τη μονάδα ακολουθούμενη από 27 μηδενικά. Και όμως τα άτομα αυτά είναι τόσο μικροσκοπικά, ώστε φαίνονται να είναι κι αυτά φτιαγμένα από το τίποτα: τον πυρήνα τους και τα ηλεκτρόνια που τον περιβάλλουν, ενώ το μέγεθος του καθενός δεν ξεπερνά το μισό εκατοντάκις εκατομμυριοστό του εκατοστόμετρου. Για να καταλάβετε πόσο μικρό είναι το μέγεθος αυτό, φανταστείτε ότι μπορείτε να δείτε τα άτομα στο σώμα ενός ανθρώπου και ότι τα άτομα αυτά έχουν το μέγεθος ενός κόκκου άμμου. Σ' αυτήν την κλίμακα ο άνθρωπός μας θα είχε ύψος 3.500 km, ύψος δηλαδή ίσο με τη διάμετρο της Σελήνης.

Ας κοιτάξουμε τώρα το Σύμπαν από την άλλη του όψη, την όψη του μεγάλου κόσμου. Αν μπορούσαμε να σμικρύνουμε το Ηλιακό μας Σύστημα κατά ένα τρισεκατομμύριο φορές, τότε θα είχε το μέγεθος ενός μεγάλου δωματίου και ο Ήλιός μας το μέγεθος του κεφαλιού μιας καρφίτσας, ενώ το πλησιέστερο σε μας άστρο (το

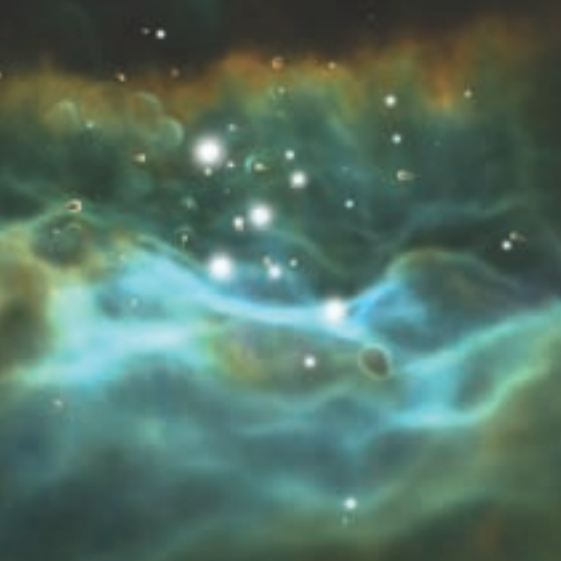
άλφα Κενταύρου) θα βρισκόταν σε απόσταση 40 km περίπου. Στην ίδια κλίμακα ο Γαλαξίας μας θα είχε διάμετρο 1.000.000 km, ενώ το πάχος του στο κέντρο θα έφτανε τα 100.000 km. Σε όλη του μάλιστα την έκταση ο Γαλαξίας μας θα στολιζόταν από 200 δισεκατομμύρια άστρα, καθένα με μέσο μέγεθος όσο το κεφάλι μιας καρφίτσας, που θα βρισκόταν σε αποστάσεις 40 km, περίπου, το ένα από τ' άλλο. Και ενδιάμεσα το κενό!

Στο Σύμπαν υπάρχουν περίπου ένα τρισεκατομμύριο τρισεκατομμύρια περίπου άστρα. Τόσα άστρα, όσοι είναι και οι κόκκοι της άμμου σ' όλους τους ωκεανούς της Γης. Και παρ' όλα αυτά βρίσκουμε ένα δισεκατομμύριο τρισεκατομμύρια άτομα στην ύλη, που περιέχεται μέσα σε μία δαχτυλήθρα. Το Σύμπαν δηλαδή δεν είναι παρά μια πραγματική μουσική συμφωνία, της οποίας οι νότες είναι άτομα σε συνδυασμούς απίστευτα πολύπλοκους, αν και βασίζονται σε απλούς φυσικούς νόμους. Γιατί οι πλανήτες, τα άστρα, οι γαλαξίες και η ύπαρξη ζωής, δεν είναι παρά παραλλαγές στο ίδιο θέμα, αφού ο Ήλιος, οι πλανήτες και όλα τα άλλα άστρα γεννήθηκαν από τα συντρίμια κατεστραμμένων άστρων-σουπερνόβα και από τα αέρια και την αστροσκοπή του διαστημικού κενού. Και όλα αυτά τα άστρα είναι στην πραγματικότητα τεράστια θερμοπυρηνικά εργοστάσια παραγωγής των 92 χημικών στοιχείων, που βρίσκονται ελεύθερα στη Φύση.







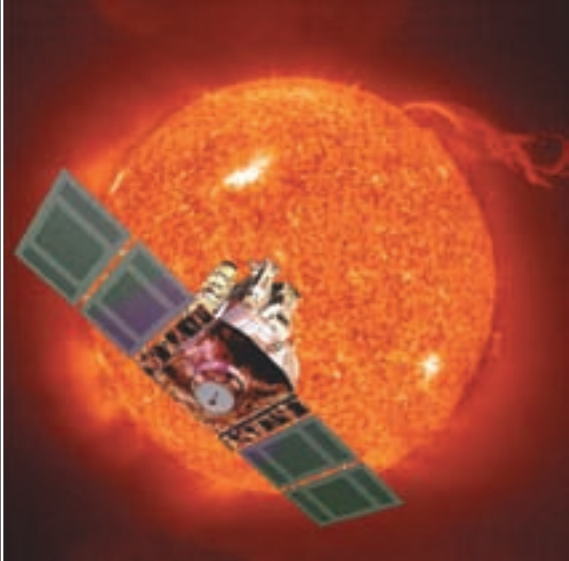
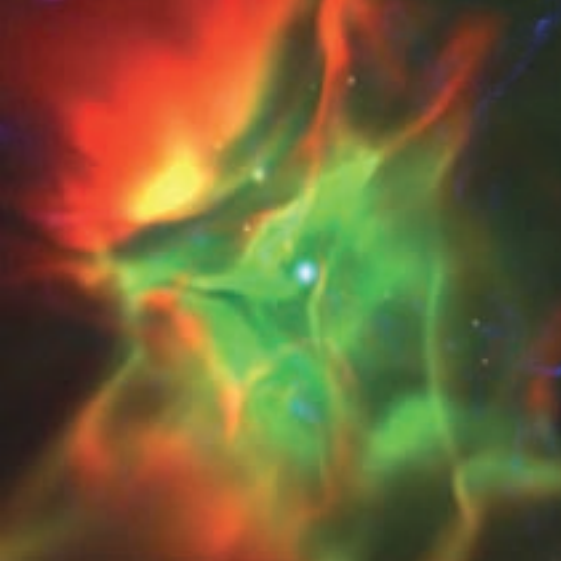


1

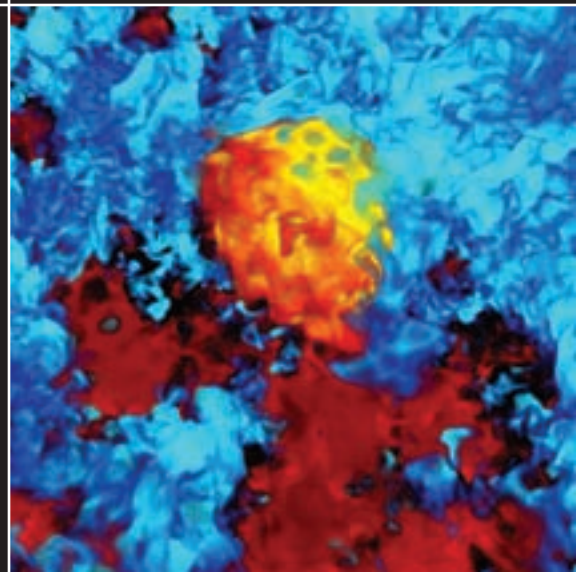
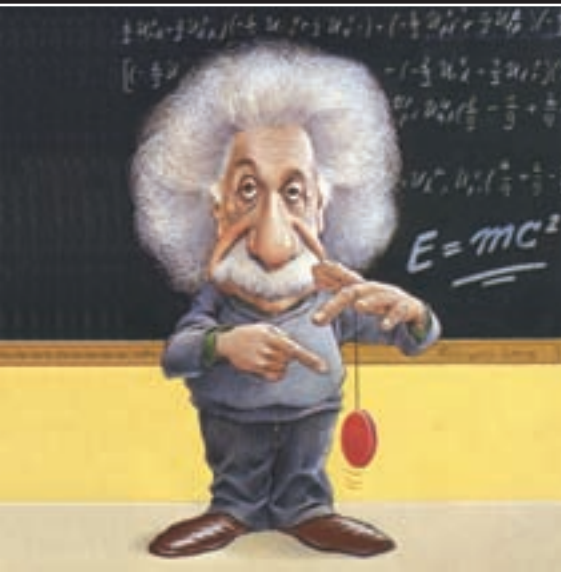


η οστάχτη των  
άστρων





Το πιο σημαντικό στοιχείο στη ζωή και την εξέλιξη ενός άστρου καθορίζεται από την ποσότητα της μάζας που περιλαμβάνει.



Τα πρωταρχικά χημικά στοιχεία του Σύμπαντος δημιουργήθηκαν στα πρώτα τρία λεπτά της γένεσης, πριν από 13,7 δισεκατομμύρια χρόνια, με αναλογία 75% υδρογόνου και 25% ηλίου (και απειροελάχιστες ποσότητες δευτερίου και λιθίου). Τα υπόλοιπα 90 χημικά στοιχεία, που βρίσκουμε ελεύθερα στη φύση δημιουργούνται στο εσωτερικό των άστρων, στη θερμοπυρηνική καρδιά των οποίων το υδρογόνο μετατρέπεται σε βαρύτερα στοιχεία μέχρι το 26<sup>ο</sup> του Περιοδικού Πίνακα, δηλαδή το σίδηρο, καθώς επίσης και στις εκρήξεις των σουπερνόβα για τη δημιουργία πολύ βαρέων στοιχείων πάνω από το σίδηρο και μέχρι το ουράνιο.

Έως τις αρχές του 20<sup>ού</sup> αιώνα, ο τρόπος με τον οποίο λάμπει το πλησιέστερο σε μας άστρο, ο Ήλιος, καθώς και όλα τ' άλλα άστρα τ' ουρανού, αποτελούσαν για την επιστήμη ένα μεγάλο αίνιγμα. Ένα αίνιγμα του οποίου η λύση άρχισε να διαφαίνεται όταν κατορθώσαμε να κατανοήσουμε καλύτερα τη δομή του ατόμου και τις ισχυρότατες πυρηνικές δυνάμεις που συγκρατούν τα σωματίδια που το αποτελούν. Το κλειδί, φυσικά, του αινίγματος δόθηκε από τον Άλμπερτ Αϊνστάιν (1879-1955) με τη διατύπωση της διάσημης εξίσωσής του:  $E=mc^2$  (δηλ. η ενέργεια ισούται με τη μάζα επί το τετράγωνο της ταχύτητας του φωτός), που σημαίνει ότι μία μικρή ποσότητα ύλης απελευθερώνει τεράστιες ποσότητες ενέργειας. Πιο απλά, η περίφημη αυτή εξίσωση του Αϊνστάιν σημαίνει ότι ένα μόνο γραμμάριο ύλης μπορεί να απελευθερώσει ενέργεια ίση με την ενέργεια που απελευθερώνουν 250.000 τόνοι βενζίνης. Έτσι η ατομική θεωρία μας έδωσε μία πηγή ενέργειας που έχει τη δυνατότητα να τροφοδοτεί τον Ήλιο και τ' άλλα άστρα για δισεκατομμύρια χρόνια.

Το γενικό, πάντως, θεωρητικό υπόβαθρο της εσωτερικής δομής των άστρων το οφείλουμε στο μεγάλο Άγγλο φυσικό και αστρονόμο Σερ Άρθουρ Έντιγκτον (1882-1944) πολύ πριν ανακαλυφτεί η πηγή ενέργειας των άστρων. Ο Έντιγκτον περιέγραψε ως εξής την κατάσταση που επικρατεί στην καρ-



διά των άστρων: «Μέσα σ' ένα κυβικό εκατοστόμετρο βρίσκονται συμπυκνωμένα ένα τρισεκατομμύριο τρισεκατομμύρια άτομα, διηλάσια περίπου ελεύθερα ηλεκτρόνια και 20 δισεκατομμύρια τρισεκατομμύρια ακτίνες Χ. Οι ακτίνες Χ κινούνται με την ταχύτητα του φωτός και τα ηλεκτρόνια με ταχύτητα 16.000 km/s. Τα περισσότερα άτομα είναι απλά πρωτόνια (πυρήνες δηλ. υδρογόνου), τα οποία κινούνται με ταχύτητα 500 km/s περίπου. Εδώ κι εκεί υπάρχουν βαρύτερα άτομα, όπως είναι ο σίδηρος, που κινούνται με αργοκίνητους ρυθμούς 60 km/s. Με τις παραπάνω ταχύτητες μπορείτε κάλλιστα να φανταστείτε το μέγεθος των συγκρούσεων που επακολουθούν». Αυτός άλλωστε είναι και ο λόγος που ο Ήλιος, αλλά και όλα τ' άστρα του ουρανού λάμπουν!

Η διαδικασία αυτή, με την οποία παράγεται η τεράστια ποσότητα ενέργειας στον Ήλιο και σ' άλλα άστρα, εξηγήθηκε για πρώτη φορά από το Γερμανοαμερικανό φυσικό Hans A. Μπέτε το 1939. Η ανακάλυψη αυτή χάρισε στον ίδιο το Βραβείο Νόμπελ Φυσικής (1967) και στην ανθρωπότητα την εξήγηση μιας από τις βασικότερες διεργασίες που συμβαίνουν στο Σύμπαν. Δύο είναι τα κύρια είδη των θερμοπυρηνικών αντιδράσεων που επικρατούν στην καρδιά των άστρων. Η μία ονομάζεται **αλυσίδα πρωτονίου-πρωτονίου** και η άλλη **κύκλος του άνθρακα**. Και στα δύο αυτά είδη των αντιδράσεων τέσσερις πυρήνες υδρογόνου συγχωνεύονται σ' έναν πυρήνα ηλίου (He-4) εκπέμποντας συγχρόνως και ενέργεια. Στη διάρκεια της διαδικασίας αυτής 1.000 γραμμάρια υδρογόνου συγχωνεύονται δημιουργώντας 993 γραμμάρια ηλίου, πράγμα που σημαίνει ότι στη διαδικασία αυτή «χάνονται» 7 συνολικά γραμμάρια ύλης. Στην πραγματικότητα, φυσικά, η μικρή αυτή ποσότητα ύλης δεν «χάθηκε», αλλά μετατράπηκε σε ενέργεια. Αυτό που μας ήγει δηλαδή ο Αϊνστάιν είναι ότι έστω και μια πολύ μικρή ποσότητα ύλης απελευθερώνει τεράστιες ποσότητες ενέργειας αφού πολλαπλασιάζεται με έναν τεράστιο αριθμό (το τετράγωνο της ταχύτητας

του φωτός). Υπάρχει δηλαδή ισοδυναμία μάζας και ενέργειας και η εξίσωση του Αϊνστάιν  $E=mc^2$  προσδιορίζει επακριβώς πόση ενέργεια απελευθερώνεται όταν «χάνεται» μία ποσότητα μάζας.

Το πιο σημαντικό στοιχείο στη ζωή και την εξέλιξη ενός άστρου καθορίζεται από την ποσότητα της μάζας που περιλαμβάνει. Ακόμη και η εμφάνιση των άστρων στον ουρανό εξαρτάται από την ποσότητα της ύλης που περιλαμβάνουν τη στιγμή που γεννιούνται. Μερικά άστρα γεννιούνται με λιγιστό υδρογόνο, λάμπουν αμυδρά με αδύνατο φως, έχουν κοκκινωπή φαιά απόχρωση και επιφανειακή θερμοκρασία 3.000 °C. Άλλα άστρα, όπως ο Ήλιός μας, έχουν περισσότερα υλικά, είναι θερμότερα και λάμπουν στους 6.000 °C μ' έντονο κιτρινωπό φως, ενώ κάποια άλλα πάλι, έχουν πολλαπλάσια υλικά από τον Ήλιο, είναι κυανόλευκα, με θερμοκρασία 20.000 °C και λάμπουν με την ένταση ενός εκατομμυρίου ήλιων.

Ένα άστρο ενηλικιώνεται όταν η πίεση της βαρύτητας των εξωτερικών του στρωμάτων εξισορροπείται από την πίεση της ακτινοβολίας και της ενέργειας, η οποία παράγεται στον πυρήνα του από τις θερμοπυρηνικές αντιδράσεις που μετατρέπουν το υδρογόνο σε ήλιο. Έτσι το άστρο αυτό παραμένει 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 ένα νέο άστρο σταθεροποιηθεί και μπει στο «δρόμο» του, η μάζα του είναι αυτή που θα του

καθορίσει πόσα χρόνια θα ζήσει σταθερά, πόσα χρόνια δηλαδή θα παραμείνει στην Κύρια Ακολουθία. Τα μικρά κοκκινωπά άστρα, που είναι και τα πιο πολυάριθμα, έχουν αυτό το χρώμα γιατί είναι σχετικά τα πιο κρύα άστρα. Γι' αυτό ονομάζονται **κόκκινοι νάνοι**, με διάμετρο μόλις το ένα τέταρτο της διαμέτρου του Ηλίου μας. Θα μπορούσαν δηλαδή να χωρέσουν άνετα στο διάστημα που χωρίζει τη Γη με τη Σελήνη. Τα άστρα αυτά έχουν μόλις το ένα δεκάκις χιλιοστό της λαμπρότητας του Ηλίου και είναι τόσο αμυδρά, ώστε κανένα τους δεν φαίνεται από τη Γη χωρίς τη βοήθεια τηλεσκοπίου.

Παρ' όλη όμως την αμυδρότητα και την απλότητά του, ένα μικρό κόκκινο άστρο θα επιζήσει περισσότερο από οποιοδήποτε άλλο είδος άστρου. Επειδή είναι μικρό οι θερμοπυρηνικές του αντιδράσεις εκτελούνται αργά και γι' αυτό λάμπει αμυδρά. Θα χρειαστεί να παρέλθει πάρα πολύς καιρός, προκειμένου να εξαντλήσει το καύσιμο υδρογόνο του. Τα μικρά κόκκινα άστρα μπορούν να λάμπουν για δεκάδες δισεκατομμύρια χρόνια, χωρίς καμία εμφανή αλλαγή. Αντίθετα οι τεράστιοι **γαλάζιοι γίγαντες** είναι άστρα πλούσια σε υλικά και γι' αυτό ιδιαίτερα σπάταλα. Οι θερμοπυρηνικές τους αντιδράσεις εκτελούνται με 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.

Ένα άστρο που διαθέτει υλικά 25 ηλιακών μαζών, για παράδειγμα, τα σπαταλάει γρήγορα λάμποντας 80.000 φορές πιο έντονα απ' ό,τι ο Ήλιος με θερμο-



κρασία 35.000 °C. Γι' αυτό η ζωή ενός τέτοιου άστρου στην Κύρια Ακολουθία δεν διαρκεί περισσότερο από 3 εκατομμύρια χρόνια. Στην άλλη άκρη, ένα άστρο με το 1/2 της μάζας του Ηλίου είναι πολύ πιο συντηρητικό και δαπανά το «καύσιμο» υδρογόνο που διαθέτει με μεγάλη «τσιγκουνιά», με αποτέλεσμα να λάμπει 40 φορές λιγότερο έντονα απ' ό,τι ο Ήλιος έχοντας επιφανειακή θερμοκρασία 4.000 °C. Ένα τέτοιο άστρο θα ζήσει σταθερά, στην Κύρια Ακολουθία, επί 200 δισεκατομμύρια χρόνια.

Η μετατροπή όμως του υδρογόνου σε ήλιο δεν είναι η μοναδική θερμοπυρηνική αντίδραση που

μπορεί να συμβεί. Κι εδώ πάλι η ποσότητα της ύλης που περιλαμβάνει ένα άστρο είναι ο βασικός συντελεστής για την έναρξη μιας νέας αλυσίδας θερμοπυρηνικών αντιδράσεων. Η ευτυχισμένη δηλαδή περίοδος της ωριμότητας ενός άστρου δεν θα διαρκέσει για πάντα. Γιατί όταν σ' ένα άστρο η περιεκτικότητα του πυρήνα σε υδρογόνο πέσει κάτω από το 1%, η κεντρική «καύση» παύει σχεδόν ολοκληρωτικά. Μ' αυτόν τον τρόπο η υδροστατική ισορροπία που επικρατούσε ανα-

τρέπεται.

Το βάρος των εξωτερικών στρωμάτων του άστρου συμπιέζει το κέντρο, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του πυρήνα. Η βαρύτητα των εξωτερικών στρωμάτων υπερνικάει την πίεση της εσωτερικής ακτινοβολίας κι έτσι ο αστρικός του πυρήνας θερμαίνεται περισσότερο απ' ό,τι προηγουμένως. Έτσι, τα εξωτερικά στρώματα υδρογόνου, γύρω από τον πυρήνα, υπερθερμαίνονται αυξάνοντας το ρυθμό των εκεί θερμοπυρηνικών αντιδράσεων. Η αυξανόμενη όμως θερμοκρασία του πυρήνα θερμαίνει σιγά-σιγά όλο και πιο πολύ το «κέλυφος» υδρογόνου που το περιβάλλει. Σε μικρό, σχετικά, χρονικό διάστημα η θερμοκρασία στο «κέλυφος» αυτό αγγίζει τους 4 εκατομμύρια βαθμούς Κελσίου πυροδοτώντας τις θερμοπυρηνικές αντιδράσεις του υδρογόνου που

υπάρχει εκεί. Η καινούργια αυτή εκροή ενέργειας ωθεί τα εξωτερικά στρώματα του άστρου προς τα πάνω μετατρέποντάς το σιγά-σιγά σε κόκκινο γίγαντα. Αυτή τη φάση, με την ίδια διαδικασία, θα την περάσουν όλα τ' άστρα, οποιαδήποτε κι αν είναι η μάζα τους. Γιατί το στάδιο του κόκκινου γίγαντα είναι η αρχή του τέλους για κάθε άστρο.

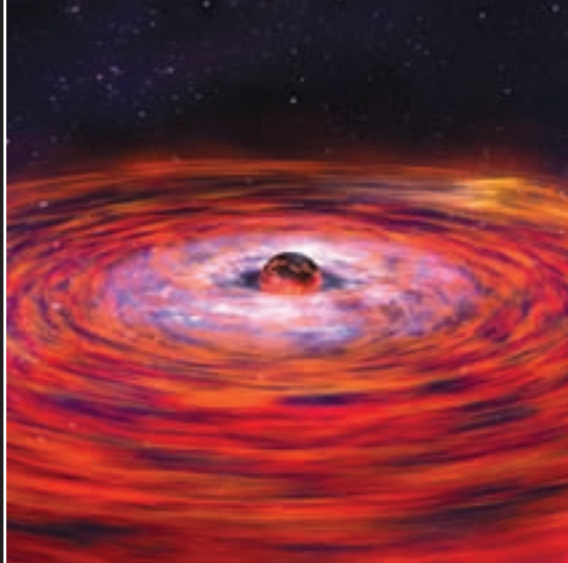
Όταν ένα άστρο αρχίσει να μετατρέπεται σε κόκκινο γίγαντα ο πυρήνας του είναι ανενεργός και αποτελείται κυρίως από ήλιο. Σ' αυτό το σημείο οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις του υδρογόνου έχουν περιοριστεί μόνο στο κέλυφος των στρωμάτων, που περιβάλλουν τον πυρήνα αυτόν. Όσο μεγαλύτερη όμως είναι η μάζα ενός κόκκινου γίγαντα τόσο μεγαλύτερη είναι και η θερμοκρασία που δημιουργείται στον πυρήνα του. Στους κόκκινους γίγαντες, που έχουν μάζα μεγαλύτερη από το 1/2 του Ηλίου η θερμοκρασία του πυρήνα αυξάνει ραγδαία. Έτσι, όταν η κεντρική αυτή θερμοκρασία φτάσει τους 100 εκατομμύρια βαθμούς Κελσίου, τα άτομα του ηλίου «πιάνουν φωτιά».

Αρχίζουν δηλαδή οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις που μετατρέπουν το ήλιο σε βηρύλλιο και αμέσως μετά σε άνθρακα.

Σε άστρα με ακόμη μεγαλύτερη μάζα – και με την ίδια διαδικασία της σύντηξης – οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις στο κέντρο τους συνεχίζονται, με αποτέλεσμα την επανάληψη του ίδιου κύκλου: καύσης, συστολής του πυρήνα λόγω βαρύτητας, αύξησης της θερμοκρασίας, σύντηξης των υλικών του πυρήνα και πάλι από την αρχή. Μ' αυτόν τον τρόπο το υδρογόνο μετατρέπεται σε ήλιο, το ήλιο σε βηρύλλιο και άνθρακα κ.ο.κ. σε οξυγόνο, νέον, μαγνήσιο, πυρίτιο, φωσφόρο, αργό, ασβέστιο και μέχρι το 26<sup>ο</sup> χημικό στοιχείο το σίδηρο. Στη συνεχή τους δηλαδή πάλη ενάντια στη βαρύτητα, τ' άστρα «καίνε» διαδοχικά τη «στάχτη» τους, τα προϊόντα δηλαδή της καύσης, των προηγούμενων θερμοπυρηνικών αντιδράσεων. Πρόκειται όμως για μία πάλη που αργά ή γρήγορα θα χάσουν. Γιατί όλα τ' άστρα κάποια μέρα θα πεθάνουν. Θα πεθάνουν επειδή ακριβώς λήγουν.





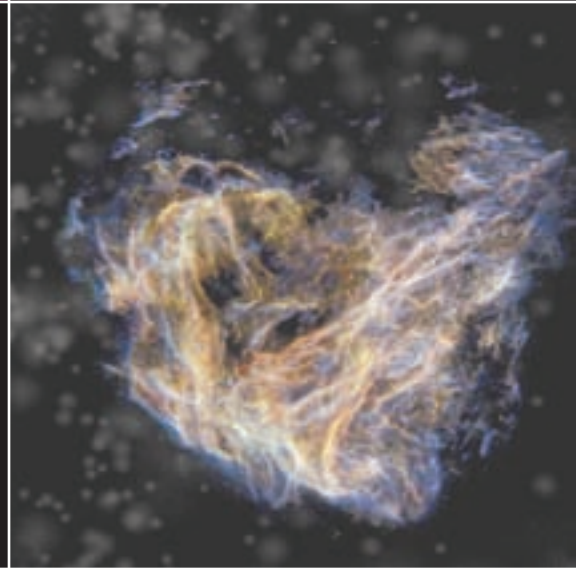
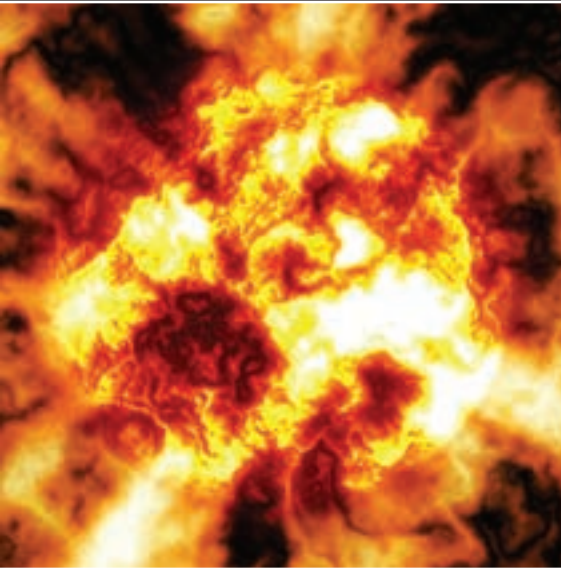
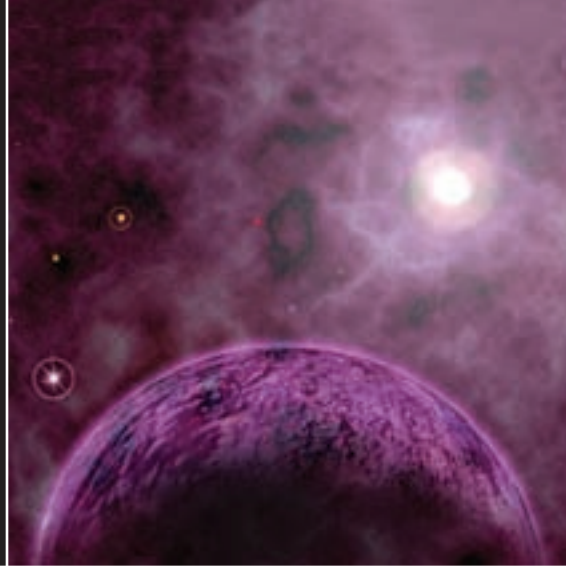


2

η αρχή του τέλους







Ο θάνατος των άστρων με πολλαπλάσια ποσότητα υλικών απ' ό,τι ο Ήλιος, είναι πολύ πιο δραματικός. Η έκρηξη αυτή ονομάζεται σουπερνόβα και έχει ως αποτέλεσμα την κυριολεκτική διάλυση του άστρου που την προκάλεσε.

Το στάδιο του κόκκινου γίγαντα για κάθε άστρο που υπάρχει στο Σύμπαν, αποτελεί το προτελευταίο κεφάλαιο της ζωής του. Σ' αυτό το στάδιο ένα άστρο βρίσκεται στον προθάλαμο του θανάτου του. Ενός θανάτου που θ' αφήσει πίσω του ένα μόνο από τρία πιθανά λείψανα, ανάλογα με τη μάζα που έχει κάθε άστρο. Άστρα με υλικά λιγότερα από 4 ηλιακές μάζες θα μετατραπούν σε **άσπρους νάνους**. Άστρα με 4 έως 25 ηλιακές μάζες θα γίνουν **πάλησαρ** ή **άστρα νετρονίων**, ενώ άστρα με ακόμη μεγαλύτερες μάζες θα καταλήξουν να γίνουν **μαύρες τρύπες**.

Όταν ένα άστρο της πρώτης κατηγορίας (με λιγότερα υλικά από 4 ηλιακές μάζες), γίνει κόκκινος γίγαντας, μπαίνει σε μία περίοδο αστάθειας. Η βαρυτική του δύναμη δεν είναι ικανή να συγκρατήσει τα εξωτερικά του στρώματα, τα οποία αποχωρίζονται σιγά-σιγά και διαφεύγουν στο διάστημα. Τα αέρια αυτά στρώματα αποχωρώντας σχηματίζουν ένα διαστελλόμενο κέλυφος, το οποίο στα τηλεσκόπιά μας φαίνεται σαν ένας δακτύλιος αερίων. Οι αστρονόμοι των περασμένων αιώνων, με τα μικρά τους τηλεσκόπια ονόμασαν τα αντικείμενα αυτά **πλανητικά νεφελώματα** επειδή νόμιζαν πως έμοιαζαν με πλανήτες. Τα διαστελλόμενα αέρια των πλανητικών νεφελωμάτων περιλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος της αρχικής μάζας ενός άστρου και καθώς αποχωρίζονται απ' αυτό, αφήνουν πίσω τους, αποκαλύπτοντάς τον συγχρόνως, το γυμνό υπερθερμασμένο πυρήνα του. Ο πυρήνας αυτός αποτελείται από άνθρακα και οξυγόνο, δηλαδή τα κατάλοιπα, η «στάχτη», των θερμοπυρηνικών αντιδράσεων του ηλίου. Αντικρίζουμε δηλαδή το λείψανο του αρχικού άστρου, που έχει φτάσει πια στο τέλος του.

Παρότι ο υπερθερμαζόμενος πυρήνας του έχει πάψει να παράγει ενέργεια (μιας και οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις στο κέντρο του έχουν σταματήσει εντελώς), εκπέμπει τεράστιες ποσότητες υπεριώδους ακτινοβολίας, ενώ η επιφανειακή του θερμοκρασία φτάνει τους 100.000 °C. Η μεγάλη όμως αυτή θερμότητα οφείλεται στην τρομακτική συμπίεση των υλικών του, που έχουν περιοριστεί σε μία σφαίρα ίση με το μέγεθος του πλανήτη μας. Το αρχικό μας, δηλαδή, άστρο έχει μετατραπεί σ' έναν άσπρο νάνο, που ακτινοβολεί ένα έντονο γαλαζόλευκο φως από μία επιφάνεια 16.000 φορές μικρότερη από την αρχική του. Τα διαστελλόμενα αέρια του κελύφους, που περιβάλλει πλέον τον νεοσποκαλυφθέντα άσπρο νάνο ερεθίζονται από την υπεριώδη ακτινοβολία του και λάμπουν. Χίλια μόνο πλανητικά νεφελώματα έχουν μέχρι σήμερα ανακαλυφτεί γιατί η διάρκεια της ζωής τους είναι σχετικά μικρή. Μέσα σε 50.000 χρόνια τα αέρια αυτά διασκορπίζονται στο διάστημα, παύουν να ερεθίζονται από τον κεντρικό τους άσπρο νάνο και δεν είναι ορατά πια από τα τηλεσκόπια μας. Έτσι στα τελευταία 60 χρόνια, με τη βοήθεια της Κβαντομηχανικής και της θεωρίας της Σχετικότητας, έχει δημιουργηθεί ένα ικανό θεωρητικό υπόβαθρο ή μοντέλο, που επεξηγεί την εξέλιξη αυτών των άστρων. Σ' αυτήν μάλιστα τη μελέτη σημαντικότερη ήταν η προσφορά του Ινδοαμερικανού αστροφυσικού Σουμπραμανιάν Τσαντρασεκάρ (Νόμπελ Φυσικής 1983), ο οποίος υπολόγισε ότι το μέγιστο όριο της μάζας ενός άσπρου νάνου δεν μπορεί να υπερβαίνει τις 1,4 ηλιακές μάζες. Προς τιμήν του το όριο αυτό ονομάζεται **Όριο Τσαντρασεκάρ**. Όσο μάλιστα πιο μεγάλη είναι











η μάζα του τόσο πιο μικρή είναι και η διάμετρος του άσπρου νάνου. Το μικρό όμως μέγεθος, σε συνδυασμό με τη μεγάλη σχετικά μάζα, έχει ως αποτέλεσμα η βαρύτητα που επικρατεί στην επιφάνειά του να είναι 200.000 φορές μεγαλύτερη της γήινης.

Ο θάνατος των άστρων με μεγαλύτερη ποσότητα υλικών απ' ό,τι ο Ήλιος, είναι πολύ πιο θεαματικός. Άστρα με 5 ηλιακές μάζες και πάνω καταναλώνουν το καύσιμο υδρογόνο τους φτάνοντας στο στάδιο του κόκκινου γίγαντα μέσα σε μερικές δεκάδες εκατομμύρια χρόνια. Το βάρος των τεράστιων ποσοτήτων των εξωτερικών του στρωμάτων είναι τόσο μεγάλο, ώστε ένας γαλάζιος γίγαντας χρειάζεται να παράγει στο εσωτερικό του τεράστιες ποσότητες ενέργειας προκειμένου να αντισταθμίσει την πίεση της βαρύτητας των υλικών του. Τέτοιου είδους άστρα αναγκάζονται να εκραγούν με μια τεράστια έκρηξη, που είναι ένα από τα πιο βίαια φαινόμενα στο Σύμπαν. Η έκρηξη αυτή ονομάζεται **σουπερνόβα** και έχει ως αποτέλεσμα την κυριολεκτική διάλυση του άστρού που την προκάλεσε. Ένα τέτοιο άστρο μετατρέπει όλο το απόθεμα του υδρογόνου στον πυρήνα του σε ήλιο μέσα σε μερικά εκατομμύρια χρόνια, με αποτέλεσμα ν' αρχίσει να «φουσκώνει» μετατρέπόμενο τελικά σε έναν κόκκινο υπεργίγαντα μέσα σε διάστημα τριών εκατομμυρίων χρόνων από τη γέννησή του. Τα άστρα αυτά εξογκώνονται σε πραγματικούς κόκκινους υπεργίγαντες με διάμετρο 500-1.000 φορές τη σημερινή διάμετρο του Ηλίου. Στο εσωτερικό ενός τέτοιου κόκκινου υπεργίγαντα, οι διεργασίες που συμβαίνουν είναι τέτοιες, ώστε όταν φτάσει η στιγμή ν' αρχίσει η συστολή του, δεν μπορεί να μετατραπεί

σε άσπρο νάνο με την απλή εκτόξευση των εξωτερικών του στρωμάτων, όπως στην περίπτωση των πλανητικών νεφελωμάτων. Επειδή το γιγάντιο αυτό άστρο εξακολουθεί να χρειάζεται ενέργεια για να στηρίξει την τεράστια μάζα του, αρχίζει μια νέα σειρά πυρηνικών αντιδράσεων στο κέντρο του. Οι «στάχτες», τα προϊόντα δηλαδή μιας αντίδρασης γίνονται το «καύσιμο» μιας άλλης. Πρώτα το υδρογόνο μετατρέπεται σε ήλιο, το ήλιο σε άνθρακα και οξυγόνο, ο άνθρακας σε νέον και μαγνήσιο και μ' αυτόν τον τρόπο η κατάσταση αρχίζει να γίνεται δραματική. Οι διεργασίες του εσωτερικού του το κάνουν να πάλλεται ακανόνιστα, ενώ όλο και πιο νέες πυρηνικές αντιδράσεις δημιουργούν όλο και πιο βαρύτερα χημικά στοιχεία για να ικανοποιήσουν τις ενεργειακές ανάγκες εξισορρόπησης του άστρού. Το άστρο δηλαδή σ' αυτήν τη φάση μοιάζει μ' ένα κρεμμύδι, του οποίου ο πυρήνας περιβάλλεται από στρώματα διαφορετικών πυρηνικών καύσεων. Φυσικά η κατάσταση αυτή δεν μπορεί να συνεχιστεί για πάντα.

Σ' ένα άστρο με υλικά 50 ηλιακών μαζών, για παράδειγμα, τα αποθέματα υδρογόνου στον πυρήνα του εξαντλούνται μέσα σε 3 εκατομμύρια χρόνια, ενώ το καύσιμο ήλιο σε μερικές χιλιάδες χρόνια. Ο πυρήνας του ηλίου συρρικνώνεται, η κεντρική θερμοκρασία αυξάνει στους 50 εκατομμύρια βαθμούς Κελσίου και το ήλιο αρχίζει να μεταστοιχειώνεται σε άνθρακα. Συγχρόνως όμως αυξάνει και ο όγκος του, μέχρις ότου μετατραπεί σε έναν τεράστιο κόκκινο υπεργίγαντα με διάμετρο αρκετές εκατοντάδες φορές μεγαλύτερη από τη διάμετρο του Ηλίου μας. Η βαρύτητα όμως των εξωτερικών του στρωμάτων δεν είναι ικα-

νή να τα συγκρατήσει. Με τη μορφή σωματιδίων ενός ελαφρού «αστρικού ανέμου», παρόμοιου με το δικό μας «ηλιακό άνεμο», μεγάλες ποσότητες υλικών διαφεύγουν στο διάστημα με ταχύτητα 10 km/s.

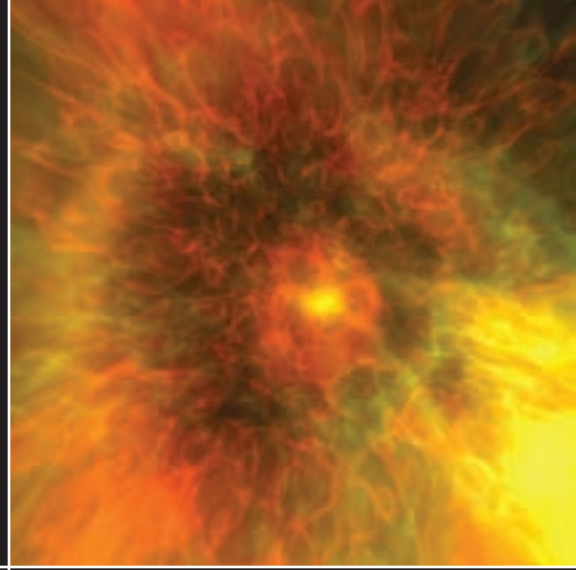
Η διαρροή των υλικών αυτών συνεχίζεται με τον ίδιο ρυθμό επί χιλιάδες χρόνια αναγκάζοντας το άστρο να επιταχύνει την περιστροφή του. Η γρήγορη αυτή περιστροφή υποχρεώνει με τη σειρά της τα διαφεύγοντα αέρια να πάρουν μία δισκοειδή μορφή, ώσπου τελικά, λόγω της αυξανόμενης φυγόκεντρης δύναμης, σχηματίζεται ένας διαρκώς διαστελλόμενος δίσκος στη θέση του αρχικού κελύφους υλικών. Έτσι 5.000 χρόνια πριν από το τέλος ο «αστρικός άνεμος» των υλικών αυξάνει την ταχύτητά του στα 600 km/s. Τα υλικά της δεύτερης αυτής, και ταχύτερης, διαρροής προφταίνουν τα προηγούμενα αργοκίνητα υλικά και τα συμπιέζουν σχηματίζοντας ένα δακτύλιο αερίων, που συνεχώς διαστέλλεται. Χίλια περίπου χρόνια πριν από το τέλος η εσωτερική θερμοκρασία του άστρου φτάνει τους 800 εκατομμύρια βαθμούς Κελσίου και ο κεντρικός πυρήνας του άνθρακα, που είχε συσσωρευτεί, αρχίζει να μετατρέπεται σε νέον και νάτριο, οπότε τα πράγματα αρχίζουν να δυσκολεύουν όλο και πιο πολύ. Έτσι δύο χρόνια πριν από το τέλος, χωρίς καμία εξωτερική προειδοποίηση, όταν η θερμοκρασία στον πυρήνα του φτάνει το 1,5 δισεκατομμύριο βαθμούς Κελσίου, αρχίζει η «καύση» του νέον σε οξυγόνο και μαγνήσιο. Έξι μήνες πριν από το τέλος αρχίζει η καύση του οξυγόνου με τη μετατροπή του σε πυρίτιο και θείο. Η θερμοκρασία του πυρήνα αγγίζει τότε τους 2 δισεκατομμύρια βαθμούς Κελσίου.



Μερικές μόνο ημέρες πριν από το τέλος η κεντρική του θερμοκρασία φτάνει τους 4 δισεκατομμύρια βαθμούς Κελσίου και 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 μεγαλώνει. Όταν η σιδερένια καρδιά του υπεργίγαντα αρχίσει να συμπιέζεται από τη βαρύτητα των ανώτερων στρωμάτων του, η θερμοκρασία του αυξάνει ακόμη πιο πολύ. Σε λιγότερο από δύο ημέρες το άστρο αποκτά μία, κυριολεκτικά, σιδερένια καρδιά με μάζα μεγαλύτερη από αυτήν του Ηλίου μας, ενώ γύρω της συνεχίζονται σε στρώματα οι καύσεις του πυριτίου, του οξυγόνου, του νέον, του άνθρακα και του ηλίου, που έχουν συνολική μάζα έξι φορές αυτής του Ηλίου.

Το 85% της μάζας του άστρου παραμένει φυσικά στα εξωτερικά του στρώματα με τη μορφή υδρογόνου. Φτάνει όμως κάποια στιγμή όπου η κεντρική θερμοκρασία είναι αρκετά υψηλή για να αρχίσει η καύση του σιδήρου. Κάτι τέτοιο όμως «ανοίγει την πόρτα» σε πραγματικά απόκοσμες καταστροφικές διαδικασίες, αφού ο σίδηρος διαθέτει τον πιο σταθερό ατομικό πυρήνα, πράγμα που σημαίνει ότι όταν εμπλέκεται σε πυρηνικές αντιδράσεις διάσπασης ή σύντηξης όχι μόνο δεν παράγει ενέργεια, αλλά αντίθετα την απορροφάει. Για να μετατραπεί δηλαδή ο σίδηρος σε βαρύτερα ή ελαφρότερα χημικά στοιχεία χρειάζεται ενέργεια, που σημαίνει ότι η ενέργεια αυτή δεν είναι διαθέσιμη, ώστε να συγκρατήσει το τεράστιο βάρος των ανώτερων στρωμάτων του άστρου, με αποτέλεσμα την ακόμη μεγαλύτερη συμπίεση του σιδερένιου αστρικού πυρήνα και την ακόμη μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας του.

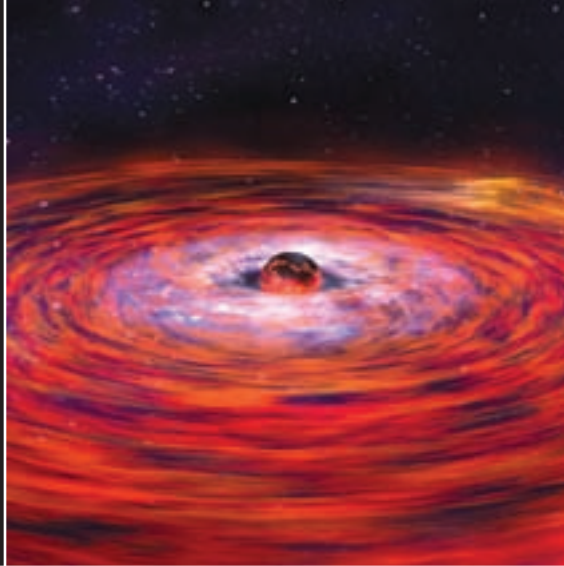
Β



ένα τέλος και  
μία αρχή







Τα υπόλοιπα υλικά του άστρου εκτοξεύονται στο διάστημα εμπλουτίζοντας έτσι το Σύμπαν με όλα τα χημικά στοιχεία της γύσης. Έτσι, η έκρηξη μιας σουπερνόβα είναι ταυτόχρονα ένα τέλος και μια αρχή.



Όταν ο συγκεντρωμένος σίδηρος στην καρδιά ενός γιγάντιου άστρου φτάσει το Όριο Chandrasekhar η συμπίεση είναι τόσο μεγάλη, ώστε η θερμοκρασία στο σιδερένιο πυρήνα του άστρου ξεπερνάει τους 4 δισεκατομμύρια βαθμούς Κελσίου. Από εδώ και πέρα, στο επόμενο δευτερόλεπτο, τα πάντα γίνονται με αστραπιαία ταχύτητα. Ο πυρήνας του άστρου διασπάται σε δύο τμήματα. Το εσωτερικό τμήμα του πυρήνα καταρρέει ανεμπόδιστο προς το κέντρο με ταχύτητα που αγγίζει τα 80.000 km/s (πάνω από το 25% της ταχύτητας του φωτός). Η κατάρρευση αυτή συμπιέζει τα υλικά του τόσο πολύ, ώστε η διάμετρος του συρρικνώνεται από 6.000 σε 6 km μόνο. Φανταστείτε δηλαδή τη Γη ολόκληρη να συμπιεστεί ξαφνικά και σε χιλιοστά του δευτερολέπτου να πάρει το μέγεθος της Αθήνας.

Η κατάρρευση του κεντρικού αστρικού πυρήνα ενός γιγάντιου άστρου ωθεί την ύλη του να διασπαστεί σε θετικά φορτισμένα πρωτόνια, σε αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια και σε νετρόνια χωρίς καμία ηλεκτρική φόρτιση. Επειδή η πίεση είναι τεράστια, τα ηλεκτρόνια συγχωνεύονται με τα πρωτόνια δημιουργώντας νετρόνια και σε μια θερμοκρασία που φτάνει τους 50 δισεκατομμύρια βαθμούς Κελσίου, δημιουργούνται  $10^{58}$  νετρίνα (η μονάδα ακολουθούμενη από 58 μηδενικά), που προς στιγμή βρίσκονται φυλακισμένα στην υπέρπυκνη και υπέρθερμη κόλλαση του αστρικού πυρήνα. Σε χιλιοστά του δευτερολέπτου η ύλη του πυρήνα αποτελείται από νετρόνια μόνο και τεράστιες ποσότητες νετρίνων, που λόγω της μεγάλης πυκνότητας της ύλης δεν μπορούν να δραπετεύσουν. Σε δέκα χιλιοστά του δευτερολέπτου η πυκνό-

τητα της αστρικής καρδιάς φτάνει να είναι τέσσερεις φορές μεγαλύτερη από την πυκνότητα ενός ατομικού πυρήνα, ενώ η θερμοκρασία έχει φτάσει τους 100 δισεκατομμύρια βαθμούς Κελσίου.

Τη στιγμή εκείνη, δηλαδή 41 εκατοστά του δευτερολέπτου μετά την έναρξη της κατάρρευσης του πυρήνα, η πυκνότητα του κέντρου φτάνει το ένα δισεκατομμύριο τόνους ανά κυβικό εκατοστό. Τα φυλακισμένα νετρίνα μαζί με τα υπόλοιπα υλικά δεν αντέχουν άλλη συμπίεση και εξοστρακίζονται προς τα έξω. Όλη δηλαδή η κινητική ενέργεια που δημιουργείται από την κατάρρευση του εσωτερικού τμήματος του πυρήνα μετατρέπεται σ' ένα τεράστιο «κρουστικό κύμα», το οποίο σαν μία κοσμική μπουλντόζα ξεκινάει προς τα εξωτερικά στρώματα του άστρου.

Ο αριθμός των νετρίνων που παράγεται σ' ένα κανονικό άστρο, όπως ο Ήλιός μας, είναι πραγματικά τεράστιος. Όμως ο αριθμός αυτός χωριά μπροστά στον αριθμό που παράγεται κατά τη διάρκεια της μετατροπής ενός υπεργιγάντιου άστρου σε σουπερνόβα. Στη διάρκεια μιας τέτοιας έκρηξης παράγονται δέκα δισεκατομμύρια τρισεκατομμύρια, τρισεκατομμύρια, τρισεκατομμυρίων νετρίνα ( $10^{58}$ ). Λόγω αυτού του αριθμού τα νετρίνα διαδραματίζουν σημαντικότατο ρόλο στην καταστροφική εξέλιξη ενός άστρου, γιατί με την εκτίναξή τους μεταφέρουν μαζί τους τεράστια ποσά ενέργειας απ' αυτό.

Επειδή, λοιπόν, τη στιγμή της έκρηξης η θερμοκρασία στον πυρήνα μπορεί να φτάσει τους 100 δισεκατομμύρια βαθμούς Κελσίου, τα νετρίνα αυτά μετα-









φέρουν ενέργεια και αποσπούν έτσι το 99,99% της ενέργειας που εκλύεται από την κατάρρευση του άστρου. Έτσι, το ορατό φως που βλέπουμε από την έκρηξη αυτή δεν αποτελεί παρά το 0,01%, πράγμα που σημαίνει ότι στις 10.000 μονάδες ενέργειας που εκλύονται από μία έκρηξη σουπερνόβα, οι 9.999 μονάδες μεταφέρονται από τα νετρίνα και μία μόνο μονάδα από το ορατό φως που βλέπουμε. Παρ' όλη δηλαδή τη φωτεινότητα που έχει μία σουπερνόβα, η ορατή της πλευρά δεν είναι παρά μία παρωνυχίδα στο πραγματικά «εκρηκτικό» γεγονός της εκπομπής των νετρίνων.

Τα νετρίνα αφήνουν πίσω τους συμπιεσμένα υλικά 1,5 περίπου ηλιακής μάζας αποτελούμενα από νετρόνια. Τα υλικά αυτά σχηματίζουν ένα άστρο νετρονίων εκλύοντας τεράστια ποσά ενέργειας που ισοδυναμούν με τη μετατροπή του 20% υλικών της μάζας του Ηλίου σε καθαρή ενέργεια. Η ενέργεια δηλαδή που ακτινοβολείται είναι ίση με την εκπομπή ενέργειας του Ηλίου μας για αρκετά τρισεκατομμύρια χρόνια. Η θερμοκρασία φτάνει τώρα τους 480 δισεκατομμύρια βαθμούς Κελσίου και τα φυλακισμένα νετρίνα κατορθώνουν επιτέλους να διαφύγουν μεταφέροντας μαζί τους το 99% της ενέργειας αυτής.

Η εκτίναξη του εσωτερικού πυρήνα τον υποχρεώνει να συγκρουστεί βίαια με τον καταρρέοντα ακόμη εξωτερικό πυρήνα δημιουργώντας έτσι ένα κρουστικό κύμα με περισσότερη ενέργεια απ' αυτήν που εκλύει ένας ολόκληρος γαλαξίας σε δέκα περίπου χρόνια. Η δημιουργία του κρουστικού αυτού κύματος σηματοδοτεί τη γέννηση της σουπερνόβα. Κι έτσι,

καθώς το κύμα αυτό μαζί με τα νετρίνα διαστέλλεται μέσα στον καταρρέοντα εξωτερικό αστρικό πυρήνα, επιτρέπει στα νετρίνα να διαφύγουν στο διάστημα. Με την ταχύτητα του φωτός τα νετρίνα αυτά διαδίδουν πλέον στο Σύμπαν τα πρώτα μηνύματα του αστρικού θανάτου.

Ένα δευτερόλεπτο μετά την αρχή της δραματικής αυτής κατάρρευσης, το κρουστικό κύμα, με ταχύτητα που φτάνει τα 30.000 km/s, εξορμάει προς τα εξωτερικά στρώματα του άστρου, το οποίο δεν έχει προφτάσει ακόμη να «συνειδητοποιήσει» το τι συμβαίνει στον πυρήνα του. Το κρουστικό αυτό κύμα παρασύρει στο διάβα του και συντρίβει τα αστρούιλικά που συναντάει. Η σύγκρουση αυτή παράγει αρκετές ποσότητες όλων των βαρέων χημικών στοιχείων όπως ασβέστιο, μόλυβδος και ουράνιο.

Στα 100 πρώτα δευτερόλεπτα μετά την εκκίνησή του, το κρουστικό κύμα διασχίζει όλους τους μανδύες του αστρικού πυρήνα και φτάνει στο όριο, που διαχωρίζει το κέλυφος του ηλίου με τα εξωτερικά στρώματα του υδρογόνου (που αποτελεί το 85% των υλικών του άστρου). Δύο χιλιάδες δευτερόλεπτα αργότερα η δημιουργηθείσα ανισορροπία σχηματίζει ακτινωτές συγκεντρώσεις αερίων του αστρικού πυρήνα πέντε φορές πυκνότερες από τα αέρια των εξωτερικών στρωμάτων που διαπερνούν. Στα 10.000 δευτερόλεπτα (2 ώρες και 47 λεπτά) τα διαστελλόμενα υλικά του πυρήνα παίρνουν τη μορφή ενός αχινού.

Στο μεταξύ το γοργά διαστελλόμενο «κρουστικό κύμα» συναντά στο δρόμο του ένα στρώμα οξυγόνου

και το μετατρέπει αμέσως σε ραδιενεργό νικέλιο. Μία ποσότητα 140 τρισεκατομμυρίων τρισεκατομμύρια τόνοι νικελίου-56 (7% της μάζας του Ηλίου) εκτοξεύεται μαζί μ' όλη τ' άλλα υλικά στο Διάστημα, με ταχύτητα 17.000 km/s, θερμαίνοντας τα αέρια του εξωτερικού μανδύα στους 100.000 °C.

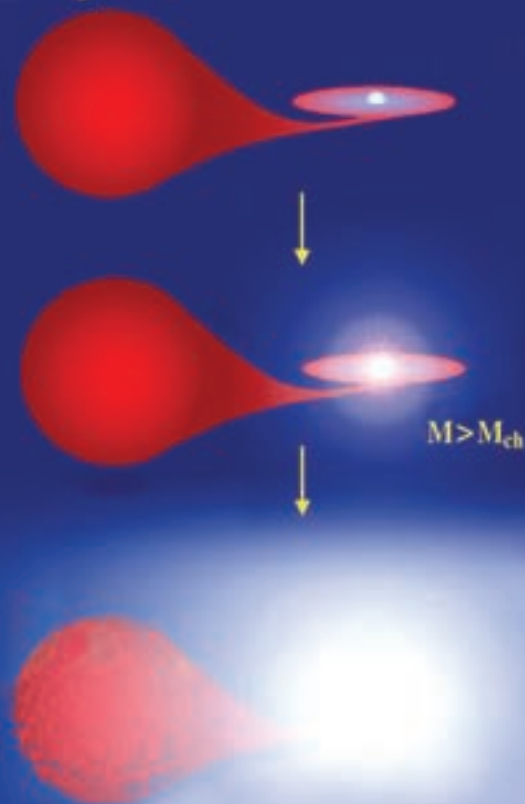
Το κρουστικό κύμα διασχίζει το άστρο μέσα σε μερικές ώρες και η τεράστια έκρηξη που επακολουθεί παράγει ενέργεια ίση με την ενέργεια που θα παράγαγε ο Ήλιος σε δέκα τρισεκατομμύρια χρόνια, αν μπορούσε να ζήσει τόσο πολύ. Και όλη αυτή η ενέργεια εκλύεται σε μερικά μόνο δευτερόλεπτα. Τέτοιου είδους εκρήξεις μπορούν να συγκριθούν μόνο με τη «Μεγάλη Έκρηξη». Με την κυριολεκτική αυτή διάλυση του άστρου η πρώτη φωτεινή του αναλαμπή ανακοινώνεται στο Σύμπαν. Η αναλαμπή αυτή αποτελείται κυρίως από υπεριώδη ακτινοβολία, που είναι αόρατη στα ανθρώπινα μάτια. Μία ώρα, όμως, αργότερα τα εκτοξευόμενα υλικά έχουν χάσει αρκετή από την ταχύτητά τους και η ακτινοβολία που εκπέμπεται είναι ορατή.

Την ίδια στιγμή ολόκληρο το άστρο διασπάται κυριολεκτικά με μία κολλοσιαία έκρηξη και την εκπομπή τεράστιων ποσοτήτων υπεριώδους ακτινοβολίας και ακτίνων Χ, λάμποντας με τη συνολική ένταση 250 εκατομμυρίων ήλιων. Παρ' όλο που το νικέλιο δεν αποτελεί παρά μόνο το 1% της συνολικής ποσότητας των αερίων, που εκτοξεύει μια σουπερνόβα, εν τούτοις αποτελεί την κύρια πηγή ενέργειας η οποία εξακολουθεί επί μήνες να θερμαίνει τα διαστελλόμενα αέρια με θερμοκρασία 5.000 °C, καθώς το ραδιενερ-

γό νικέλιο-56 μετατρέπεται σε κοβάλτιο-56 και αυτό με τη σειρά του σε σίδηρο-56.

Μετά από μία έκρηξη σουπερνόβα, και ενώ το μεγαλύτερο μέρος του άστρου καταστρέφεται εκτοξευόμενο στο Διάστημα, ο πυρήνας του παραμένει στη θέση του ανέπαφος μεν αλλήλ σε φοβερά ασταθή κατάσταση. Αν η μάζα του πυρήνα δεν ξεπερνάει τις 3, περίπου, ηλιακές μάζες τότε οποιαδήποτε περαιτέρω συμπίεσή του σταματάει. Αυτό που απομένει όταν η κατάρρευση και ο εξοστρακισμός σταματήσουν, είναι

### Τύπος Ia





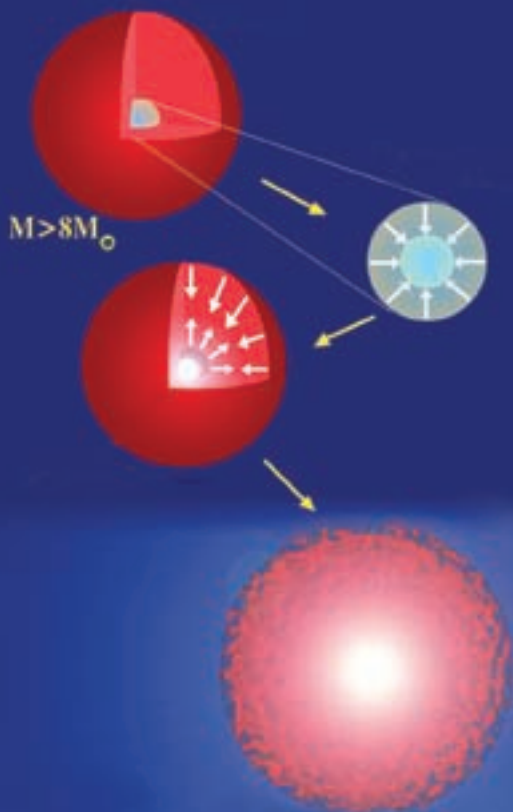
έναν γιγάντιο ατομικό πυρήνα νετρονίων με διάμετρο 20 km περίπου, οποίος περιστρέφεται γύρω από τον εαυτό του εκατοντάδες φορές κάθε δευτερόλεπτο. Είναι ένα άστρο νετρονίων, γνωστότερο με την ονομασία **πάλσαρ**, το οποίο εξ αιτίας της ταχύτητας περιστροφής του εκπέμπει περιοδικά ραδιοκύματα, που δημιουργούνται από επιταχυνόμενα ηλεκτρόνια στο στροβιλιζόμενο μαγνητικό του πεδίο.

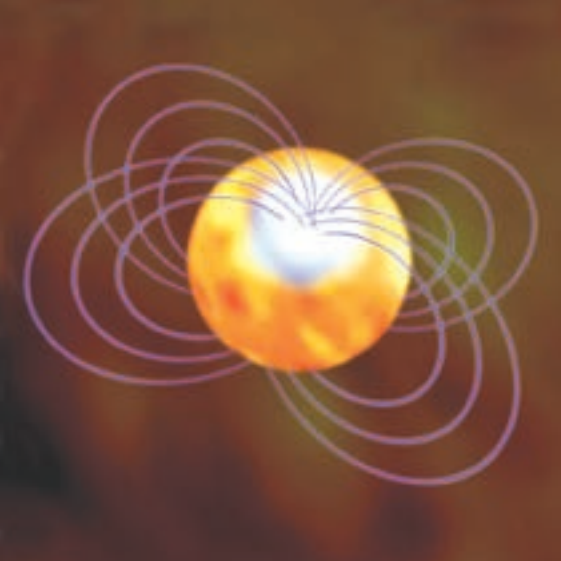
Όλα τα υπόλοιπα υλικά του άστρου εκτοξεύονται στο Διάστημα εμπλουτίζοντας έτσι το Σύμπαν με όλα τα

χημικά στοιχεία της φύσης. Έτσι, η έκρηξη μιας σουπερνόβα είναι ταυτόχρονα ένα τέλος και μια αρχή. Το εκρηκτικό τέλος της ζωής ενός άστρου απελευθερώνει όλα τα χημικά στοιχεία, που είχαν δημιουργηθεί στην καρδιά του κατά τη διάρκεια της σύντομης σχετικά ζωής του, καθώς και πολλά άλλα που γεννήθηκαν τη στιγμή της έκρηξης. Τα νέα αυτά χημικά στοιχεία δημιουργούν παράξενους νεφελώδεις σχηματισμούς, που επί αιώνες διαστέλλονται στο διάστημα με τρομαχτικές ταχύτητες. Τα νεφελώματα αυτά υπερθερμαίνονται από τις τεράστιες ακτινοβολίες υψηλής ενέργειας, που εκπέμπουν οι παλλόμενες ραδιοπηγές οι οποίες έχουν απομείνει στο κέντρο τους, φωτίζοντας έτσι τα λείψανα αυτά των άστρων με τις αραχνιασμένες μορφές.

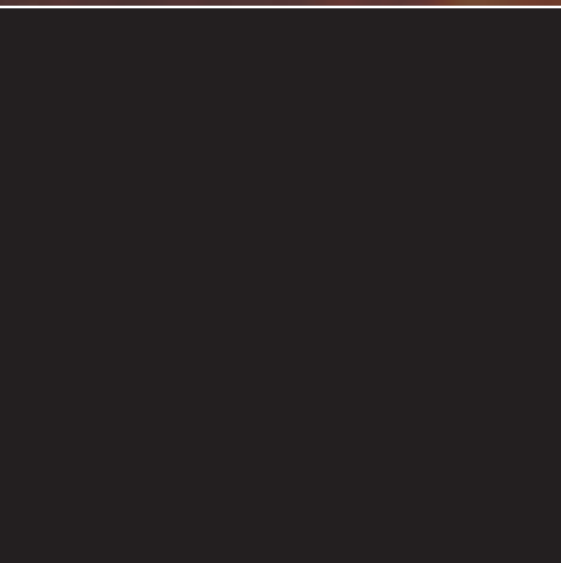
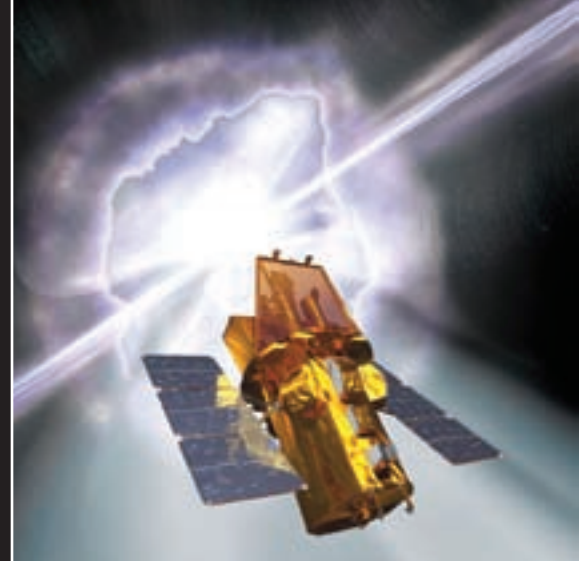
Η «σούπα» αυτή των χημικών στοιχείων εμπλουτίζει τα διάσπαρτα νεφελώματα αερίων και διαστημικής σκόνης από τα οποία θα γεννηθούν τα άστρα και οι πλανήτες των επόμενων γενεών. Γι' αυτό χωρίς τις εκρήξεις των σουπερνόβα δεν θα υπήρχαν πλανήτες ούτε και δορυφόροι. Χωρίς τις σουπερνόβα δεν θα υπήρχε η Γη, δεν θα υπήρχαν βράχια και βότσαλα, δεν θα υπήρχαν λίμνες και θάλασσες. Χωρίς τις εκρήξεις των σουπερνόβα, δεν θα υπήρχαν φυτά και ζώα, δεν θα υπήρχε ο άνθρωπος. Γιατί ολόκληρη η ύλη στο σώμα μας, τα χημικά στοιχεία απ' το οποίο αποτελείται δημιουργήθηκαν στην «κόλληση» τέτοιων αστρικών θανάτων. Είμαστε δηλαδή αστράνθρωποι, που δημιουργηθήκαμε από χημικά στοιχεία φτιαγμένα στις θανατηφόρες εκρήξεις υπεργιγάντιων άστρων. Είμαστε όλοι μας αστρόσκονη και κάποια μέρα θα ξαναγυρίσουμε στα άστρα.

## Τύπος II

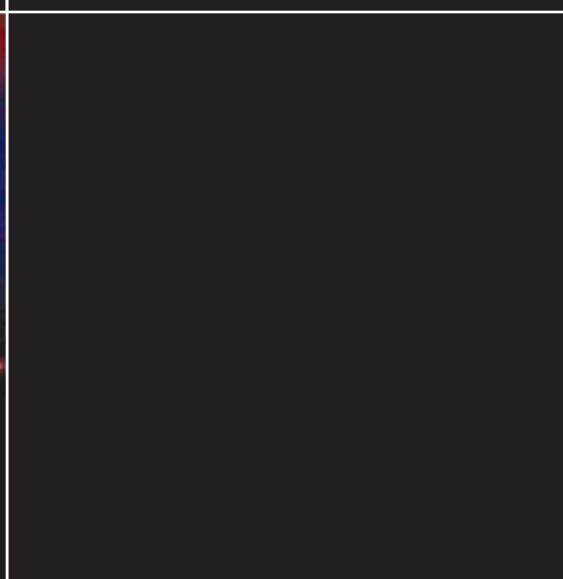
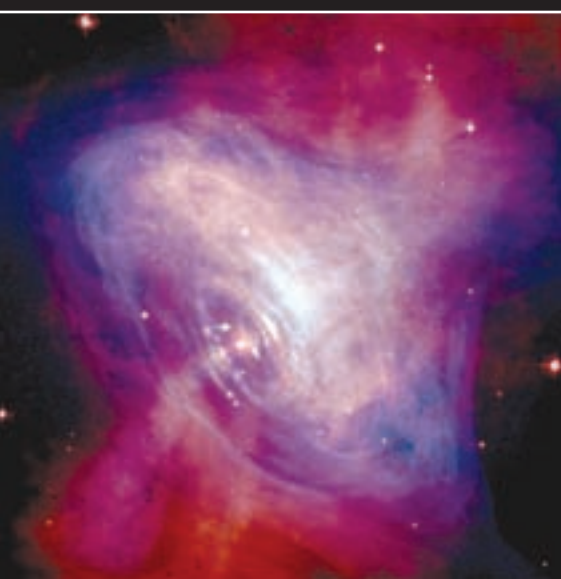




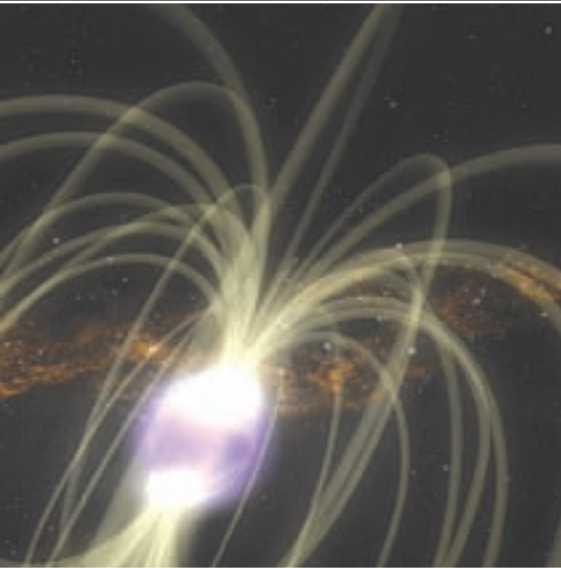
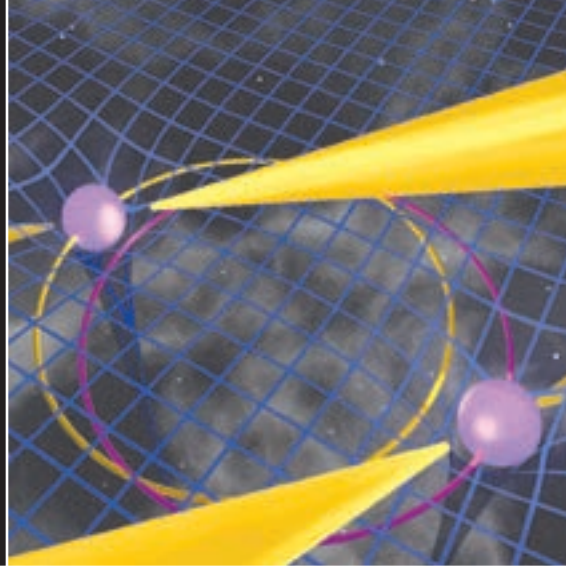
4



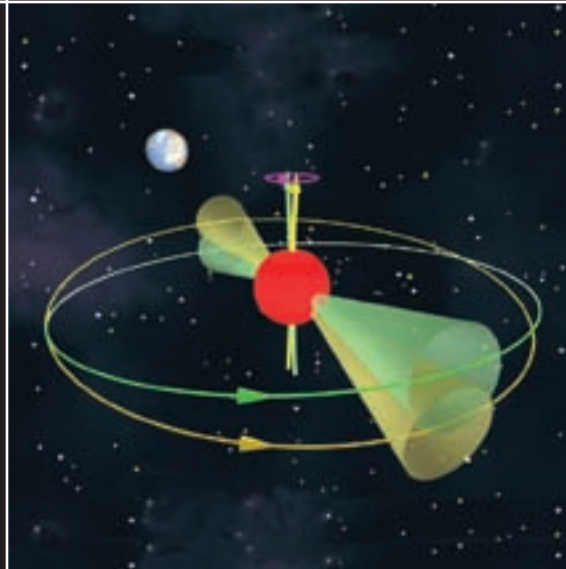
ΟΙ ΘΑΡΟΙ  
ΤΟΥ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΟΣ







Ποιος είναι άραγε ο μηχανισμός εκείνος που επιτρέπει στα πάλσαρ να εκπέμπουν τις ραδιοακτινοβολίες τους με ρυθμό μέχρι και εκατοντάδες φορές κάθε δευτερόλεπτο και με τόσο απόλυτη σταθερότητα;

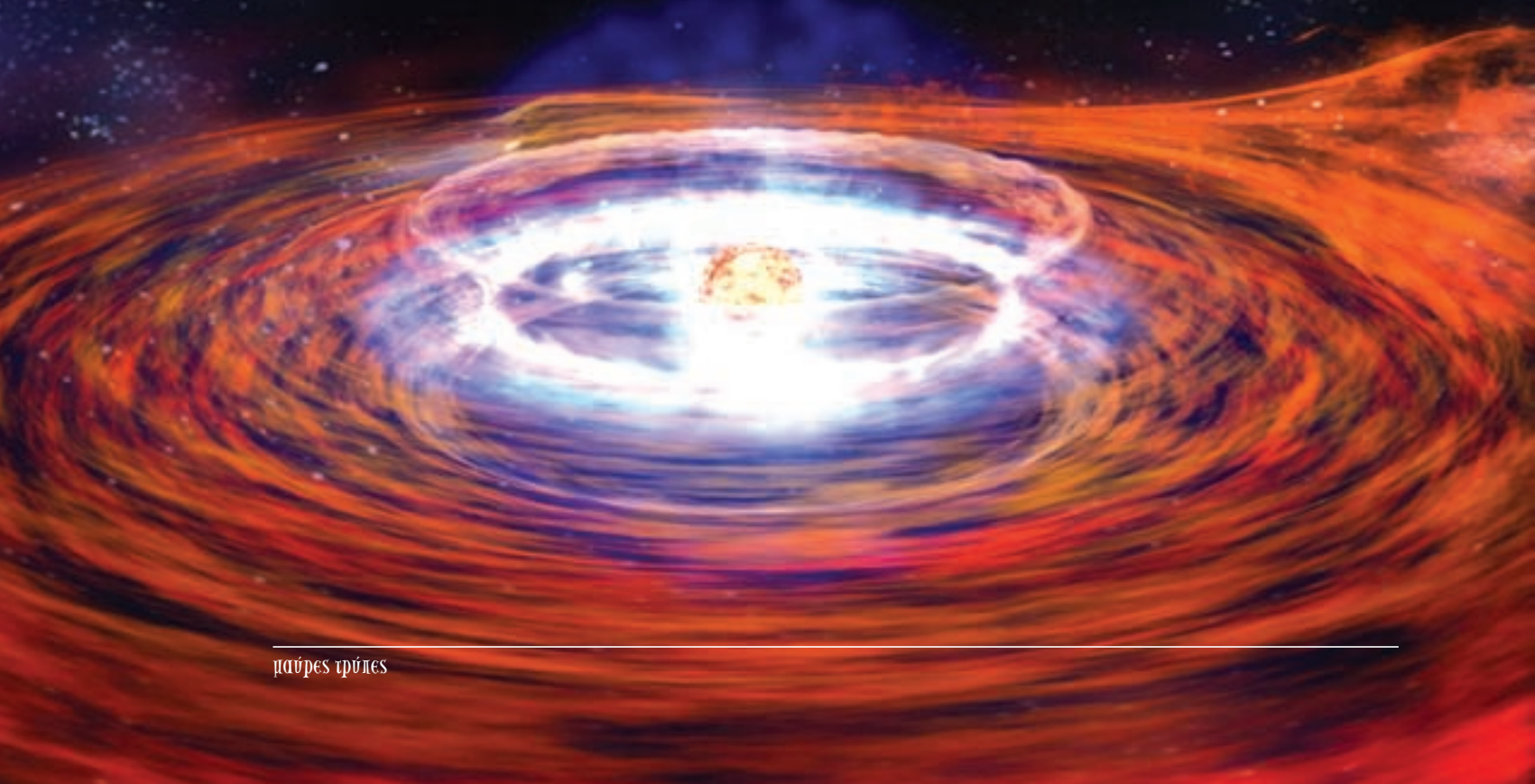


Είναι άστρα, αλλά περιστρέφονται σαν σβούρες εκατοντάδες φορές κάθε δευτερόλεπτο. Σε κάθε περιστροφή τους εκπέμπουν από τους μαγνητικούς πόλους τους τεράστιες ποσότητες ακτινοβολιών σαν απόκοσμοι φάροι του Διαστήματος. Ένα τέτοιο άστρο είναι πραγματικά κάτι το αδιανόητο. Υλικά από ένα τέτοιο άστρο με μέγεθος όσο είναι το κεφάλι μιας καρφίτσας, θα «ζύγιζαν» ένα εκατομμύριο τόνους, δέκα δηλαδή φορές περισσότερο από ένα σύγχρονο αεροπλανοφόρο! Επί πλέον, αν ρίχναμε έναν απλό σπόρο σταριού πάνω σ' ένα τέτοιο άστρο θα δημιουργούσε τόση ενέργεια όσο και η ατομική βόμβα που έπεσε στη Χιροσίμα.

Η πυκνότητα των υλικών του δημιουργεί επίσης πραγματικά αδιανόητες βαρυτικές δυνάμεις. Ένα

μωρό 5 κιλών, για παράδειγμα, στην επιφάνεια ενός τέτοιου άστρου θα «ζύγιζε» 50 εκατομμύρια τόνους! Άλλωστε το ίδιο το άστρο «ζυγίζει» 2.400 τρισεκατομμύρια τρισεκατομμυρίων τόνους, 400.000 δηλαδή φορές περισσότερο από τη Γη μας παρ' όλο που η διάμετρός του είναι 1.300 περίπου φορές μικρότερη. Αν μάλιστα η Γη μας είχε συμπιεστεί σε μια σφαίρα με την πυκνότητα που έχει ένα τέτοιο άστρο θα χωρούσε άνετα στο εσωτερικό του κλειστού Σταδίου «Ειρήνης και Φιλίας» στο Φάληρο. Κι όμως αυτού του είδους τα άστρα υπάρχουν αν και ανακαλύφθηκαν προσφάτως, μόλις πριν από μερικές δεκαετίες.

Πριν από 50 περίπου χρόνια παρατηρήθηκε για πρώτη φορά στον αστερισμό των Ιστίων, μια σχνή νεφελώδης περιοχή αερίων και σκόνης. Το νεφέλωμα





αυτό διερευνήθηκε επισταμένα το 1950-1955 από τον Αυστραλό αστρονόμο Κόλιν Γκαμ, από τον οποίο έλαβε και την ονομασία του. Το νεφέλωμα Γκαμ απέχει μόλις 1.500 έτη φωτός από μας, ενώ η έκρηξη του άστρου από την οποία σχηματίστηκε είχε τη λαμπρότητα της Πανσελήνου. Κανείς όμως δεν κατέγραψε τη λαμπερή αυτή σουπερνόβα, γιατί η έκρηξη του άστρου συνέβη πριν από 30.000 χρόνια κατά τη διάρκεια της Παλαιολιθικής Εποχής. Αντίθετα όμως μια άλλη παρόμοια έκρηξη καταγράφηκε, με αρκετές μάλιστα λεπτομέρειες, στις 4/7 του 1054 μ.Χ.

Τότε ο Κινέζος αστρονόμος Γιανγκ Γουέι-Τε, παρατήρησε ένα νέο λαμπερό σημάδι στον ουρανό που φαινόταν ακόμη και την ημέρα για τρεις ολόκληρες εβδομάδες. Σιγά-σιγά όμως άρχισε να ξεθωριάζει μέχρις ότου, 21 μήνες μετά την εμφάνισή του, ο λαμπρός αυτός «επισκέπτης» είχε πια χαθεί από τον ουρανό. Ο «επισκέπτης» αυτός του 1054 μ.Χ., δεν ήταν τίποτα παραπάνω από την επιθανάτια έκρηξη ενός τεράστιου γέρικου άστρου, που στα τελευταία στάδια της ζωής του μετατράπηκε σε σουπερνόβα. Το άστρο αυτό βρισκόταν σε απόσταση 6.300 ετών φωτός και τη στιγμή της μεγαλύτερης του έντασης έλαμπε με την ισχύ 500 εκατομμυρίων ήλιων. Κατά συνέπεια ο Γιανγκ Γουέι-Τε παρακολούθησε ένα γεγονός που είχε ξανασυμβεί πριν από 6.300 χρόνια, γύρω στο 5200 π.Χ., την εποχή που οι Σουμέριοι εγκαταστάθηκαν στη Μεσοποταμία. Στο σημείο εκείνης της έκρηξης τα σύγχρονα τηλεσκόπιά μας έχουν αποκαλύψει ένα φωτεινό νεφέλωμα, που μοιάζει με κάβουρα και γι' αυτό ονομάστηκε **Νεφέλωμα Καρκίνος**. Το νεφέλωμα αυτό, στον αστερισμό του Ταύρου,

είναι τα υπολείμματα ενός κατεστραμμένου άστρου που παρ' όλα αυτά λάμπει ακόμη και σήμερα με τη φωτεινότητα 30.000 ήλιων.

Τον Αύγουστο του 1967 Άγγλοι ραδιοαστρονόμοι, ο καθηγητής Α. Χιούις (Νόμπελ Φυσικής 1974) και η ερευνήτρια Τ. Μπελ, παρατήρησαν στον ουρανό, στο μέσο σχεδόν της απόστασης ανάμεσα στα άστρα Βέγα στον αστερισμό της Λύρας και Αλτάρ στον αστερισμό του Αετού, μερικούς παράξενους ραδιοπαλμούς. Οι παλμοί αυτοί ήσαν τόσο απόλυτα σταθεροί, ώστε στην αρχή πίστεψαν ότι ήσαν τα σήματα κάποιου τεχνολογικά προηγμένου διαστημικού πολιτισμού. Αργότερα όμως ανακαλύφθηκαν παρόμοια σήματα και σε άλλα σημεία τ' ουρανού. Οι πηγές αυτές ονομάστηκαν παλλόμενες ραδιοπηγές και έγιναν γνωστές με τη διεθνή συγκεκομμένη ονομασία τους **Πάλσαρ**.

Τον Οκτώβριο του 1968 Αμερικανοί ραδιοαστρονόμοι παρατηρώντας το Νεφέλωμα Καρκίνος ανακάλυψαν ένα πάλσαρ που είχε τη μικρότερη μέχρι τότε παλμική περίοδο, η οποία έφτανε το 0,033099 του δευτερολέπτου. Το ίδιο πάλσαρ δεν ξέφυγε τελικά ούτε και από τις φωτογραφικές μας μηχανές. Μ' ένα ειδικό σύστημα μπορέσαμε να φωτογραφήσουμε την πηγή των ραδιοπαλμών, που απεδείχθη ότι ήταν ένα μικροσκοπικό άστρο 12 χιλιομέτρων, στο κέντρο σχεδόν του νεφελώματος, με την καταπληκτική ιδιότητα να αναβοσβήνει 30 φορές κάθε δευτερόλεπτο.

Κι όμως, η ύπαρξη των παράξενων αυτών άστρων είχε προβλεφτεί θεωρητικά από τη δεκαετία ακόμη του 1930. Σύμφωνα με τις θεωρίες της εποχής

εκείνης, η απότομη και υπερβολικά ταχεία βαρυτική κατάρρευση των υλικών της καρδιάς ενός γιγάντιου άστρου, πρέπει να έχει ως αποτέλεσμα την τρομαχτική συμπίεση του αστρικού κέντρου στην πυκνότητα ενός ατομικού πυρήνα. Συγχρόνως η έκρηξη και αποβολή των εξωτερικών στρωμάτων του άστρου πρέπει να θεωρείται ένα παράλληλο και αναπόφευκτο φαινόμενο της όλης διαδικασίας της κατάρρευσης του αστρικού πυρήνα.

Μια τέτοια έκρηξη συμπιέζει τον πυρήνα του άστρου σε τέτοιο βαθμό, ώστε η ύλη από την οποία αποτελείται, να είναι πυκνά «πακεταρισμένη» και το άστρο αυτό να μοιάζει μ' έναν τεράστιο ατομικό πυρήνα. Και πράγματι, όταν στο τέλος της ζωής του τα υλικά που έχουν απομείνει σ' ένα άστρο υπερβαίνουν το Όριο Τσαντρασεκάρ, είναι δηλαδή πάνω από 1,4 ατμόσφαιρες κάτω από περίπου 3 ηλιακές μάζες, τότε το άστρο αυτό δεν πεθαίνει ως άσπρος νάνος, αλλά αντιθέτως η συμπίεση των υλικών του συνεχίζεται πέρα από την πυκνότητα των άσπρων νάνων.

Υπό την τεράστια αυτή συμπίεση τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια των χημικών στοιχείων του άστρου συγχωνεύονται με τα θετικά φορτισμένα πρωτόνια του πυρήνα με αποτέλεσμα τη δημιουργία νετρονίων και νετρίνων. Και ενώ τα νετρίνα δραπετεύουν άμεσα από το άστρο, μεταφέροντας μάλιστα το 99,99% από την ενέργειά του, τα νεοσχηματισμένα νετρόνια παραμένουν εκεί και ενώνονται με τα ήδη υπάρχοντα των ατομικών πυρήνων. Όλα αυτά τα νετρόνια όμως είναι τόσο σφικτά συμπιεσμένα, ώστε εφάπτονται σχεδόν το ένα με το άλλο. Αποτέλεσμα αυτής της

συμπίεσης είναι η δημιουργία μιας σφαίρας μερικών χιλιομέτρων με την πιο λεία, στερεή επιφάνεια που έχει γνωρίσει ποτέ το Σύμπαν. Βρισκόμαστε δηλαδή αντιμέτωποι μ' ένα άστρο νετρονίων.

Οι θεωρητικές εκτιμήσεις για την ύπαρξη των άστρων αυτών διατυπώθηκαν, ανεξάρτητα ή και σε συνεργασία, από αρκετούς περίφημους αστρονόμους και αστροφυσικούς σ' όλη τη διάρκεια της δεκαετίας του 1930. Έτσι όταν το 1968 ανακοινώθηκε η ανακάλυψη του πάλλσαρ στο Νεφέλωμα Καρκίνος, διάφορες αστροφυσικές ομάδες ερευνητών εντατικοποίησαν τις μελέτες τους και σύντομα εντοπίστηκαν αρκετές εκατοντάδες παρόμοιων τέτοιων αντικειμένων.

Ένας από τους στόχους των ερευνητών για την καλύτερη κατανόηση των πάλλσαρ ήταν και η εξήγηση του φαινομένου και της όλης διαδικασίας, που τα επέτρεπε να συναγωνίζονται σε απόλυτη ακρίβεια τα καλύτερα ρολόγια που κατασκεύασε ο άνθρωπος. Ποιος ήταν άραγε ο μηχανισμός εκείνος που επέτρεπε στα πάλλσαρ να εκπέμπουν τις ραδιοακτινοβολίες τους με ρυθμό μέχρι και 30 φορές κάθε δευτερόλεπτο και με τόσο απόλυτη σταθερότητα;

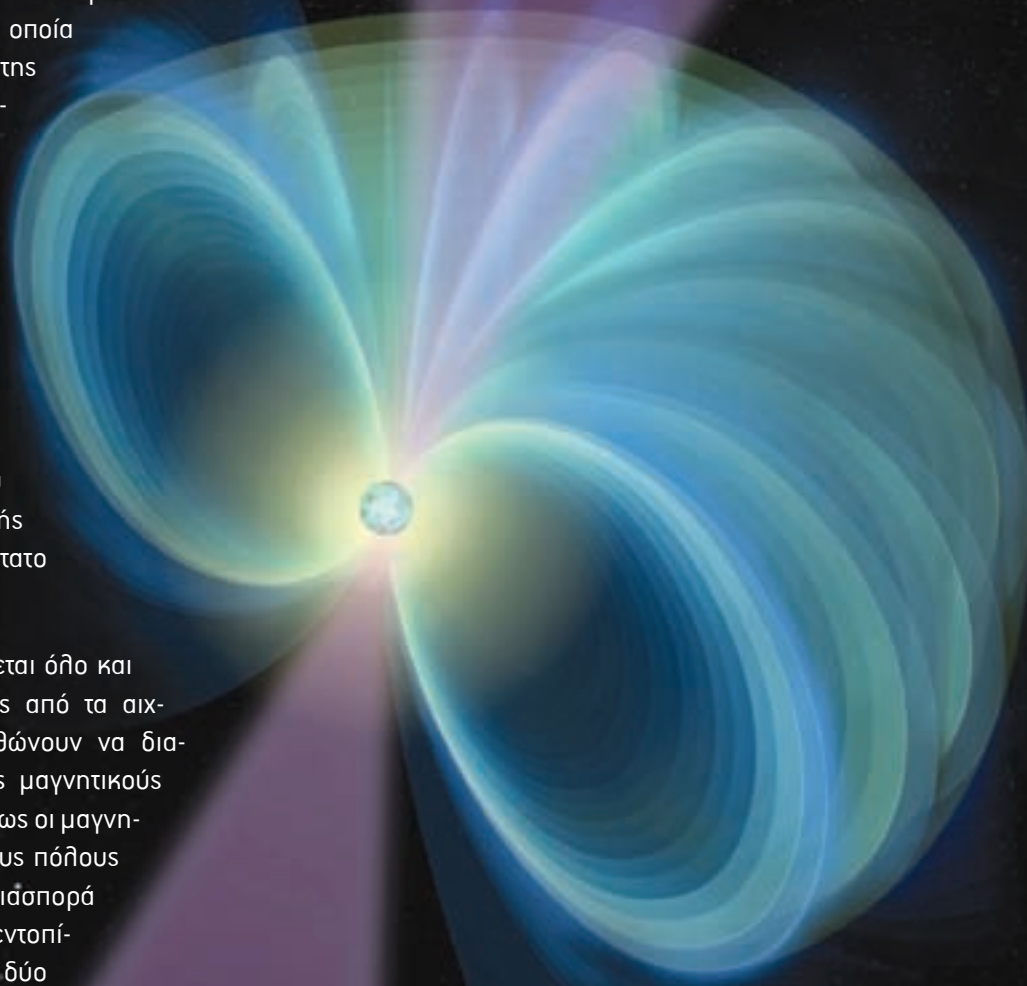
Τη λύση έδωσε ο αστρονόμος του Πανεπιστημίου Κορνέλι, Τόμας Γκορντ, ο οποίος ταύτισε τα πάλλσαρ με τα άστρα νετρονίων των θεωριών που είχαν διατυπώσει οι Οπενχάιμερ και Λαντάου στη δεκαετία του 1930. Σύμφωνα με την άποψη του Γκορντ η συμπίεση των υλικών του άστρου το υποχρεώνει σε συνεχή και όλο και πιο πολύ σμίκρυνση. Αλλά όσο μικραίνει το άστρο, τόσο μεγαλώνει ο ρυθμός της περιστροφής του

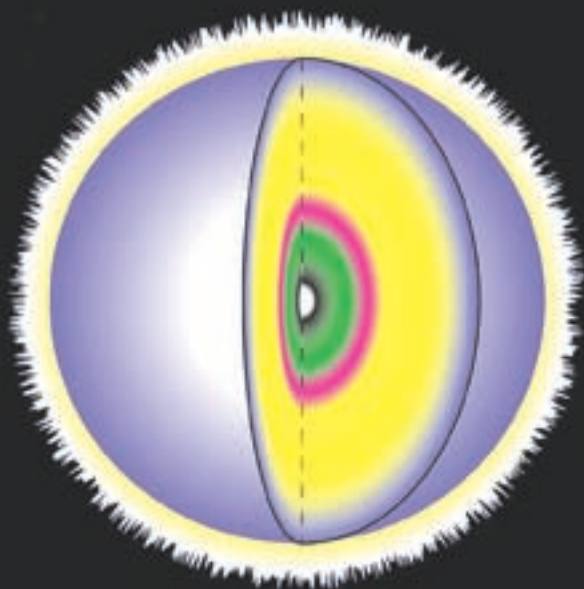


σύμφωνα με το νόμο της διατήρησης της στροφορμής. Συμβαίνει δηλαδή ακριβώς το ίδιο με αυτό που κάνει μια μπαλαρίνα, η οποία όταν μαζεύει τα απλωμένα χέρια της πλησιέστερα στο σώμα της, περιστρέφεται όλο και πιο γρήγορα.

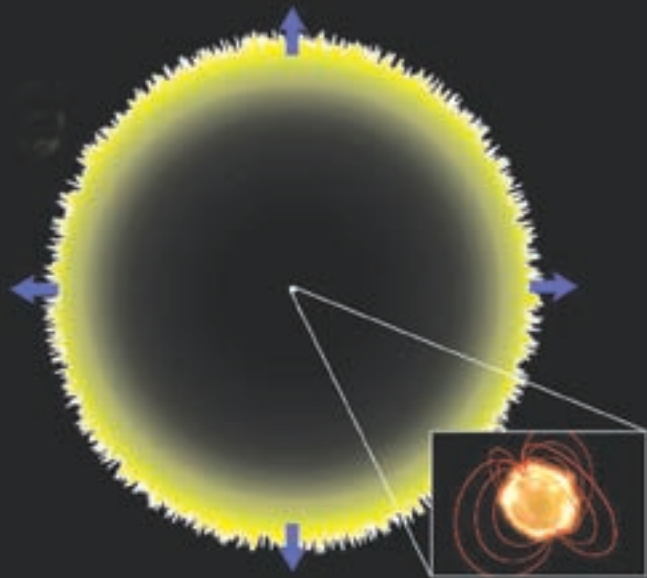
Η συμπύεση όμως ενός άστρου κατά 70.000 φορές, στο μέγεθος ενός άστρου νετρονίων, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του μαγνητικού του πεδίου κατά 5 δισεκατομμύρια φορές. Έτσι τα ηλεκτρόνια που ξεφεύγουν από την επιφάνεια του άστρου λόγω της ταχύτατης περιστροφής του, φυλακίζονται από το ισχυρότατο αυτό μαγνητικό πεδίο.

Καθώς όμως το άστρο περιστρέφεται όλο και πιο γρήγορα, μεγάλες ποσότητες από τα αιμαλωτισμένα ηλεκτρόνια κατορθώνουν να διαφύγουν δραπετεύοντας από τους μαγνητικούς πόλους του άστρου. Επειδή συνήθως οι μαγνητικοί πόλοι δεν συμπίπτουν με τους πόλους της περιστροφής ενός άστρου, η διάσπορά των ηλεκτρονίων στο Διάστημα εντοπίζεται μόνο με κάθε εμφάνιση των δύο μαγνητικών του πόλων. Τα ηλεκτρόνια που διαφεύγουν, λόγω της ύπαρξης του μαγνητικού πεδίου, χάνουν ενέργεια με τη μορφή μικροκυμάτων και επειδή τα





Η δημιουργία ενός άστρου  
νετρονίων (πάλσαρ)





μικροκύματα δεν επηρεάζονται από μαγνητικά πεδία κατορθώνουν να διασκορπιστούν σαν πίδακες ακτινοβολίας στο Διάστημα.

Κάθε άστρο νετρονίων λοιπόν εκπέμπει μ' αυτόν τον τρόπο πίδακες ραδιοκυμάτων από τους μαγνητικούς του πόλους. Αλλά ένα μόνο πάλλσαρ στα εκατό βρίσκεται σε τέτοια θέση σε σχέση με τη Γη, ώστε η περιστροφή των μαγνητικών του πόλων να στέλνει στον πλανήτη μας παρατηρήσιμες ραδιοεκπομπές. Έτσι από τα 100.000 πάλλσαρ, που υπολογίζεται ότι υπάρχουν στο Γαλαξία μας, δεν είναι δυνατόν να παρατηρήσουμε περισσότερες από μερικές, το πολύ, χιλιάδες, αν και μέχρι σήμερα έχουν ήδη ανακαλυφτεί εκατοντάδες τέτοιων αντικειμένων.

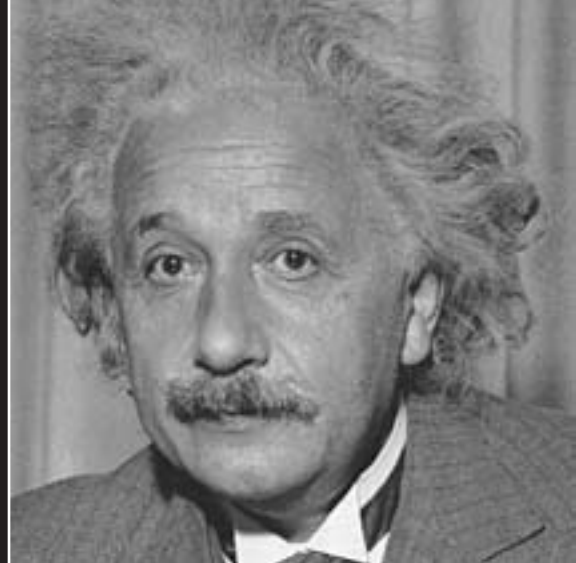
Ένα απ' αυτά μάλιστα, ο PSR1937+214, ο οποίος ανακαλύφτηκε στις 12 Νοεμβρίου 1982, έχει μια καταπληκτική περιστροφική περίοδο, αφού περιστρέφεται γύρω από τον άξονά του 642 φορές κάθε δευτερόλεπτο! Αν η διάμετρός του είναι 20 km περίπου, τότε η περίμετρος του ισημερινού του δεν υπερβαίνει τα 63 km περίπου, πράγμα που σημαίνει ότι ένα οποιοδήποτε σημείο στον ισημερινό του περιφέρεται με ταχύτητα 40.446 km/s ή με 13,5%, περίπου, της ταχύτητας του φωτός!

Ένα άστρο νετρονίων όμως έχει κι άλλες καταπληκτικές ιδιότητες. Αν για παράδειγμα μπορούσαμε να εισχωρήσουμε βαθιά στο κέντρο των φωτεινών αερίων, που αποτελούν το Νεφέλωμα Καρκίνος, θα βρισκόμασταν αντιμέτωποι με μια απίστευτη αστρική ραδιοπηγή, η οποία εκπέμπει τόση ενέργεια όσο 10.000 άστρα σαν τον Ήλιό μας. Με διάμετρο μερικών μόνο χιλιομέτρων, το άστρο αυτό είναι ο υπερσυμπιεσμένος αστρικός πυρήνας που απέμεινε μετά την έκρηξη της σουπερνόβα του 1054 μ.Χ.

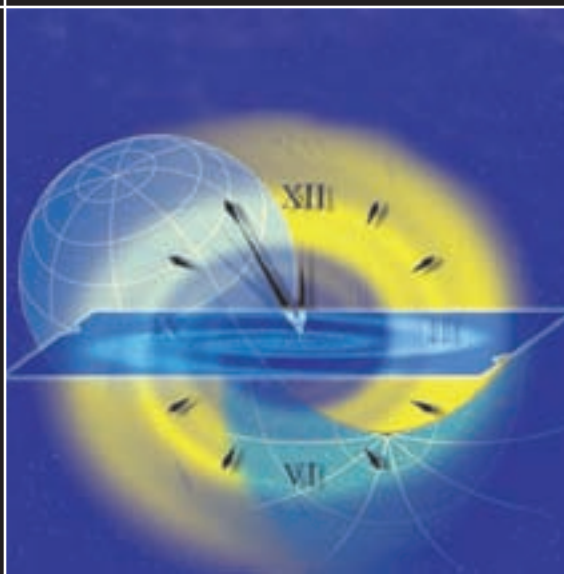
Η πυκνότητά του είναι τόσο μεγάλη, ώστε αν ένα κομμάτι του με μέγεθος ενός κόκκου άμμου έπεφτε πάνω στη Γη μας θα την διαπερνούσε τελείως από την μιαν άκρη στην άλλη, με την ίδια ευκολία που μια υπερθερμασμένη καυτή σιδερόβεργα διαπερνάει ένα λεπτό διαφανές φύλλο νάιλον. Για να μπορέσουμε μάλιστα να πούμε ότι πλησιάσαμε κάπως τη φανταστική πυκνότητα ενός τέτοιου άστρου θα έπρεπε ολόκληρος ο σημερινός πληθυσμός του πλανήτη μας, έξι δηλαδή δισεκατομμύρια άνθρωποι, να συμπιέζονταν στο μέγεθος μιας σταγόνας νερού. Τίποτα όμως δεν μπορεί να συγκριθεί με κάτι ακόμη πιο αδιανόητο: την ύπαρξη μιας Μαύρης Τρύπας, όπου ακόμη και το φως αδυνατεί να ξεφύγει από τα «δίχτυα» της, λόγω της τεράστιας βαρύτητας που επικρατεί εκεί. Τι είναι όμως αυτό που ονομάζουμε **βαρύτητα**;



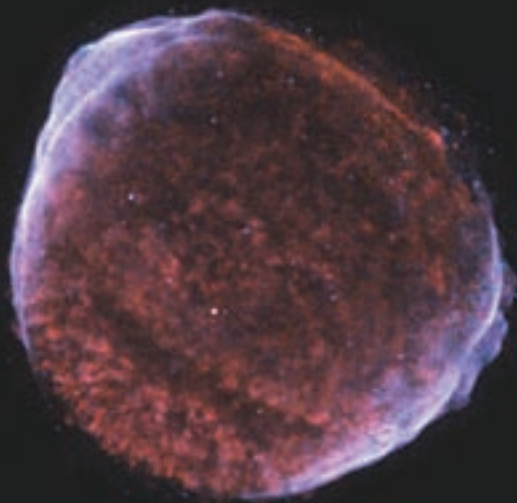
5



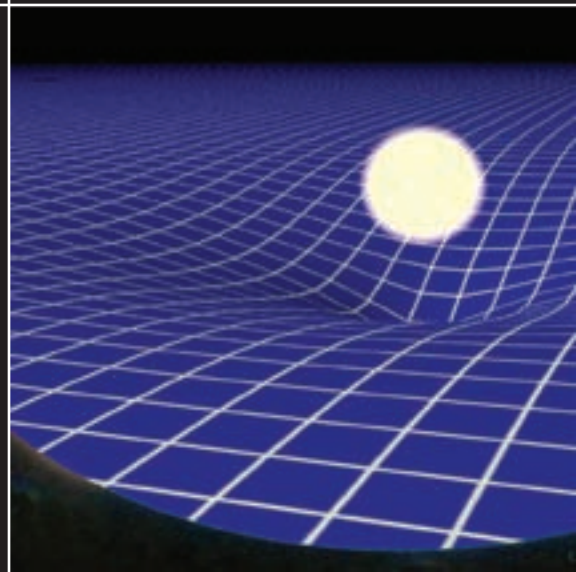
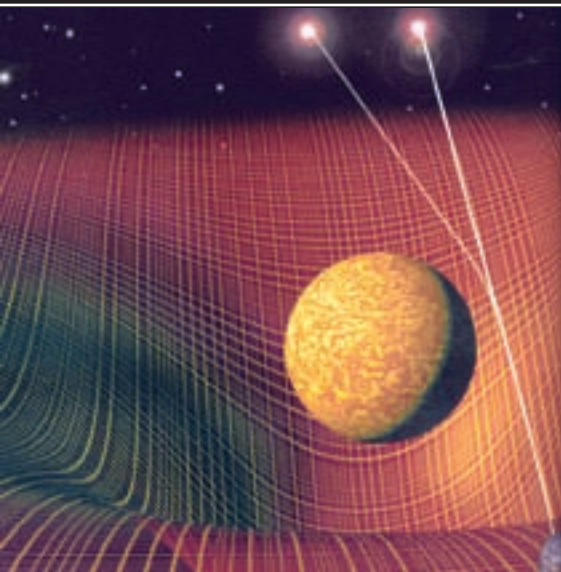
# ΧΩΡΟΣ, ΧΡΟΝΟΣ ΚΑΙ ΒΑΡΥΤΗΤΑ







Γιατί, όμως, υπάρχουν τέσσερεις δυνάμεις και όχι δύο ή πέντε; Γιατί υπάρχουν έξι αρύματα κουάρκ και έξι λεπτόνια κι όχι τρία ή τέσσερα ή δέκα; Είναι, άραγε, η φύση τόσο πολύπλοκη;



Όπως είναι γνωστό σήμερα το Σύμπαν διέπεται από τέσσερεις θεμελιώδεις δυνάμεις. Η πρώτη, είναι η **βαρύτητα** που μας κρατάει καθηλωμένους στη Γη και κατ' επέκταση τη Γη σε τροχιά γύρω από τον Ήλιο. Η δεύτερη είναι η **ηλεκτρομαγνητική δύναμη**, που παράγει τον ηλεκτρισμό και το μαγνητισμό και τη χρήση της βλέπουμε κάθε φορά που ανάβουμε μια ηλεκτρική λάμπα. Φυσικά η βαρύτητα και η ηλεκτρομαγνητική δύναμη είναι οι εύκολα αντιληπτές δυνάμεις στον καθημερινό μας κόσμο. Όμως οι δύο άλλες δυνάμεις είναι κλειδωμένες στο εσωτερικό του ατόμου. Η **ισχυρή δύναμη** κρατάει τα κουάρκ (τα βασικά δηλ. συστατικά της ύλης) δεμένα μεταξύ τους και δημιουργεί την ενέργεια των άστρων, ενώ αντίθετα η **ασθενής δύναμη** είναι αυτή που κάνει τα άτομα να διασπώνται, δημιουργώντας τη ραδιενέργεια.

Αν θέλαμε, επίσης, να συνοψίσουμε τις γνώσεις μας για τα θεμελιώδη συστατικά της ύλης και για τον τρόπο με τον οποίο αλληλεπιδρούν με τις θεμελιώδεις δυνάμεις θα λέγαμε χονδρικά ότι στη φύση υπάρχουν δύο ειδών στοιχειώδη σωματίδια: πρώτον τα σωματίδια της ύλης, που συλλογικά ονομάζονται **φερμιόνια** και αποτελούνται από τα κουάρκ (οι συνδυασμοί των οποίων αποτελούν τα αδρόνια) και τα λεπτόνια και δεύτερον τα έξι εν δυνάμει σωματίδια-φορείς των τεσσάρων θεμελιωδών δυνάμεων, που ονομάζονται συλλογικά **μποζόνια**.

Γιατί, όμως, υπάρχουν τέσσερεις δυνάμεις και όχι δύο ή πέντε; Γιατί υπάρχουν έξι αρώματα κουάρκ και έξι λεπτόνια κι όχι τρία ή τέσσερα ή δέκα; Είναι, άραγε, η φύση τόσο πολύπλοκη;

Οι σύγχρονοι φυσικοί υποστηρίζουν σήμερα ότι πρέπει να υπάρχει ένα μόνο θεμελιώδες σωματίδιο και μία μόνο θεμελιώδης δύναμη. Αυτό τουλάχιστον υποστηρίζουν ορισμένες από τις Γενικές Ενοποιημένες Θεωρίες, που ελπίζουν να ενώσουν σταδιακά και τις τέσσερεις δυνάμεις της φύσης σε μία και μοναδική **Υπερδύναμη**. Μια τέτοια θεωρία αποτελεί τον κύριο στόχο της σύγχρονης επιστήμης. Η διατύπωση μιας τέτοιας θεωρίας ήταν το όνειρο του Αϊνστάιν. Αυτό όμως που απέτυχε να πραγματοποιήσει ο Αϊνστάιν ίσως γίνει πραγματικότητα από τους σύγχρονους φυσικούς ερευνητές. Το άσχημο είναι ότι η απλή αυτή κατάσταση με μία Υπερδύναμη και ένα στοιχειώδες σωματίδιο υπήρχε μόνο τη στιγμή της Μεγάλης Έκρηξης όταν το Σύμπαν είχε δέκα διαστάσεις και όχι τέσσερεις! Ας εξηγηθούμε όμως καλύτερα.

Στο Σύμπαν που ζούμε αντιλαμβανόμαστε εύκολα τις τρεις διαστάσεις του, όπου κάθε αντικείμενο έχει ένα δεδομένο ύψος, μήκος και πλάτος. Αν όμως ζούσαμε σε ένα Σύμπαν δύο διαστάσεων τότε αυτό θα ήταν ένα άπειρα λεπτό επίπεδο, ενώ ένα μονοδιάστατο Σύμπαν δεν θα ήταν παρά μια απλή γραμμή. Τέλος ένα αντικείμενο με μηδέν διαστάσεις θα ήταν μια απλή τελεία χωρίς καθόλου μέγεθος. Εμείς φυσικά γνωρίζουμε ότι ζούμε σ' ένα Σύμπαν τεσσάρων διαστάσεων, γιατί όλοι μας υπάρχουμε μέσα σ' αυτό που ονομάζουμε **χωρόχρονο**. Ο χρόνος δηλαδή είναι μια από τις τέσσερεις διαστάσεις. Η διάσταση φυσικά αυτή δεν είναι άμεσα αντιληπτή όπως οι τρεις διαστάσεις του χώρου. Γιατί η αντίληψη που έχουμε για τη διάσταση του χρόνου είναι διαφορετική. Αισθανόμαστε τη ροή του χρόνου σαν γεγονότα που έρχονται

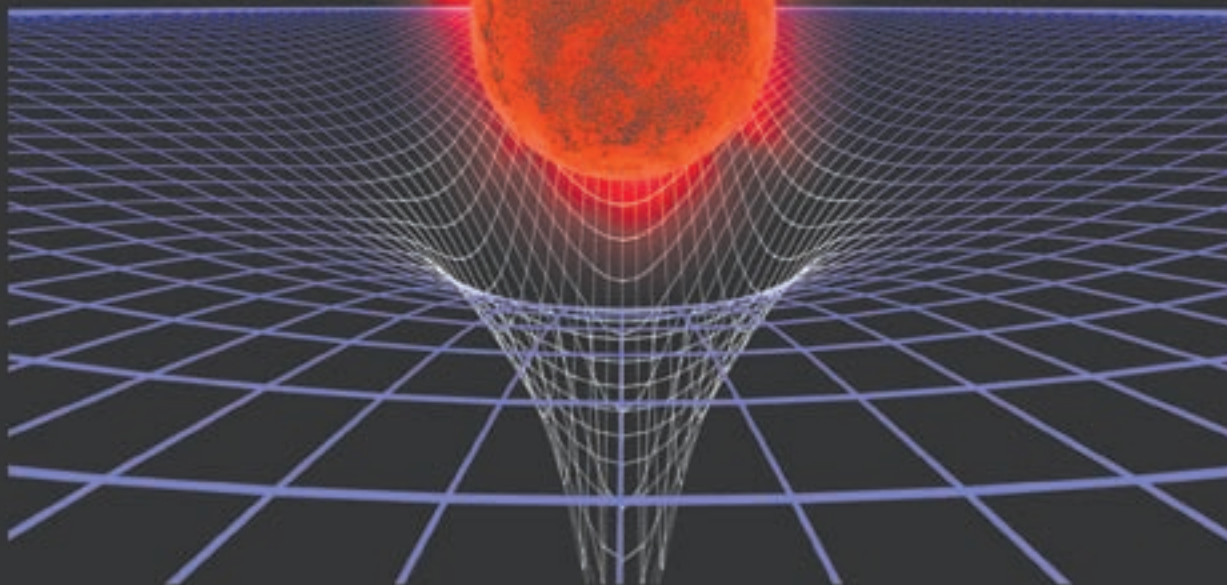


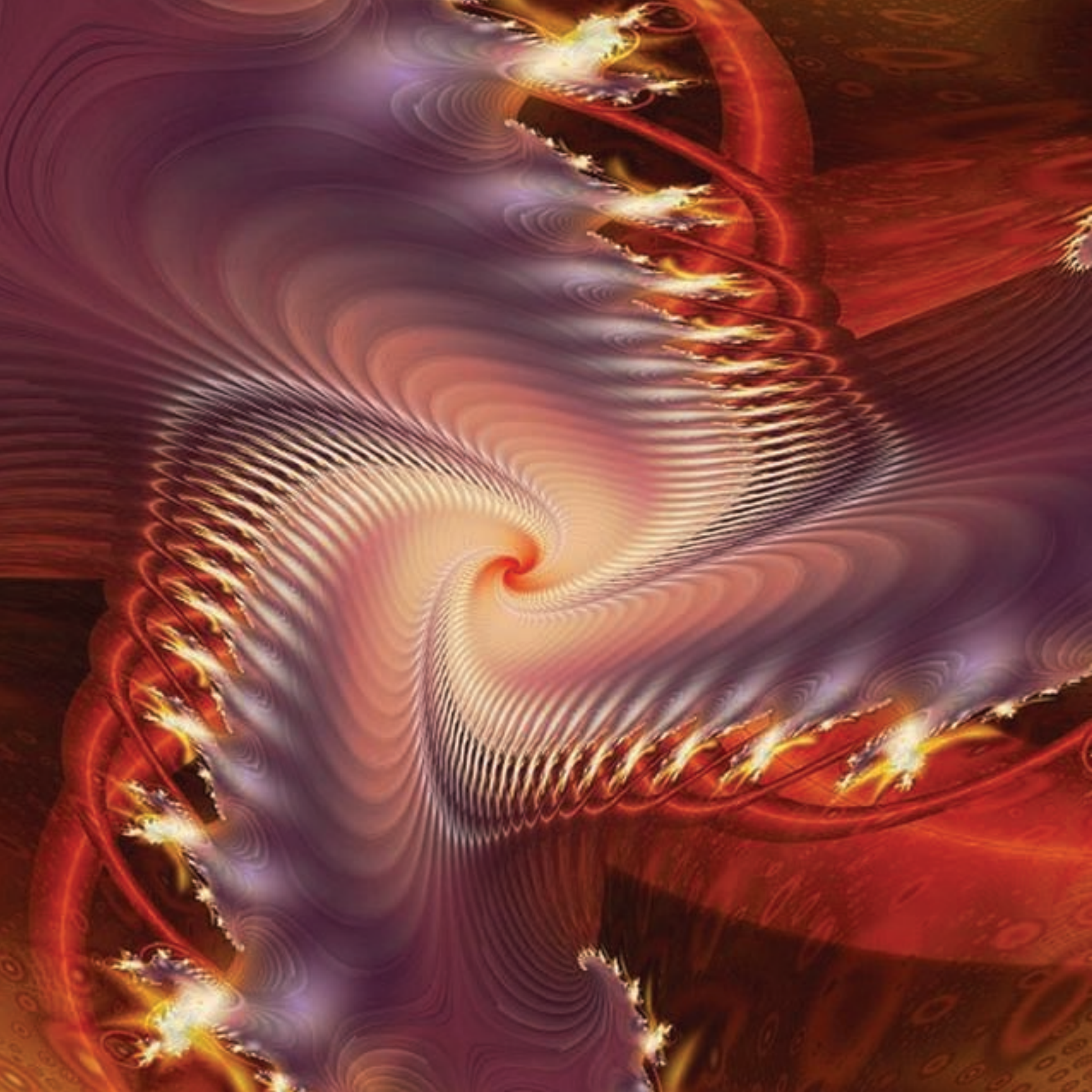
προς εμάς από το μέλλον και χάνονται πίσω μας στο παρελθόν. Δεν μπορούμε φυσικά να δούμε το μέλλον, αλλά ούτε και το παρελθόν παρά μη μόνο ως μια ανάμνηση. Παρ' όλη αυτά ένα αντικείμενο δεν μπορεί να υπάρχει στο χώρο, χωρίς τη διάσταση του χρόνου.

Η μεγαλύτερη ανακάλυψη του Αϊνστάιν ήταν όταν διαπίστωσε ότι η βαρύτητα δεν είναι στην πραγματικότητα μία δύναμη, αλλά το αποτέλεσμα της παραμόρφωσης των τεσσάρων διαστάσεων του χωρόχρονου. Οποιοδήποτε μικρό ή μεγάλο κομμάτι ύλης, είτε άτομο, πλανήτης, άστρο, είτε γαλαξίας είναι αυτό μπορεί και παραμορφώνει τη δομή του χωρόχρονου. Καθώς τα διάφορα αντικείμενα κινούνται στο Σύμπαν είναι σαν να κυλιάνε μέσα, έξω και γύρω απ' αυτές τις χωροχρονικές παραμορφώσεις, ενώ η κίνησή

τους επηρεάζεται από τις παραμορφώσεις αυτές, τις οποίες δεν μπορούμε να δούμε. Αντίθετα, εκείνο το οποίο βλέπουμε είναι το αποτέλεσμα που προκαλεί στα διάφορα αυτά αντικείμενα η επίδραση της φαινομενικά μυστηριώδους δύναμης που ονομάζουμε **βαρύτητα**.

Παρ' όλο που ο Αϊνστάιν δεν μπόρεσε να προχωρήσει πιο πολύ, οι σύγχρονοι συνάδελφοί του πιστεύουν ότι μπορούν να το κάνουν αν ξεπεράσουν το «φράγμα» των τεσσάρων διαστάσεων. Η σκέψη που κάνουν είναι ότι και οι άλλες τρεις δυνάμεις της φύσης μπορεί να δημιουργούνται κι αυτές από χωροχρονικές παραμορφώσεις, όχι όμως στις τέσσερις διαστάσεις του κανονικού χωρόχρονου. Έτσι για να εξηγηθεί η ύπαρξη των τριών αυτών δυνάμεων, της ηλεκτρομαγνητικής, της ασθενούς και της ισχυρής, απαιτείται







η ύπαρξη έξι πρόσθετων διαστάσεων. Αν λοιπόν η θεωρία αυτή αληθεύει, ζούμε σ' ένα Σύμπαν δέκα διαστάσεων.

Πού βρίσκονται άραγε αυτές οι μυστηριώδεις επιπλέον διαστάσεις; Μπορούμε άραγε να τις δούμε ή να ταξιδέψουμε μέσα σ' αυτές; Η απάντηση είναι αρνητική κι αυτό διότι οι «αόρατες» αυτές, έξι επιπλέον, διαστάσεις βρίσκονται «διπλωμένες» στο εσωτερικό των ατομικών σωματιδίων. Κάθε γεωμετρικό σημείο του χώρου είναι στην πραγματικότητα και μια υπερσφαίρα έξι διαστάσεων. Μια υπερσφαίρα όμως τόσο μικρή, ώστε ακόμη και ένα πρωτόνιο να είναι συγκριτικά τεράστιο. Στο εσωτερικό της υπερσφαίρας αυτής το Σύμπαν υπάρχει στην απόλυτη απλότητά του, με ένα μόνο είδος σωματιδίων και μία μόνο δύναμη. Ακριβώς όπως συνέβαινε τη στιγμή της Μεγάλης Έκρηξης. Η διάσπαση όμως της υπερσφαίρας αυτής θα απαιτούσε τόση ενέργεια όση και αυτή που δαπανήθηκε για τη δημιουργία του Σύμπαντος!

Θα αναρωτιέστε όμως γιατί τα αντικείμενα έλκονται μεταξύ τους; Η έλξη της βαρύτητας ανάμεσα σε δύο αντικείμενα παραμένει σταθερή ή εξασθενεί με την πάροδο του χρόνου; Μήπως η βαρύτητα δημιουργείται με τη μορφή βαρυτικών κυμάτων, όπως ακριβώς το φως και άλλα είδη ενέργειας; Και αν πράγματι υπάρχουν αυτά τα βαρυτικά κύματα, από πού προέρχονται; Ο Άλμπερτ Αϊνστάιν, ο μεγαλύτερος ίσως επιστημονικός νους της σύγχρονης εποχής, δαπάνησε το μεγαλύτερο μέρος της ζωής του αντιμετωπίζοντας αυτά και άλλα παρόμοια ερωτηματικά. Ο μεγαλοφυής αυτός επιστήμονας έλεγε κάποτε με μετριο-

φροσύνη ότι σ' ολόκληρη τη ζωή του είχε δύο μόνο πραγματικές ιδέες. Αυτές του τις ιδέες δημοσίευσε το 1905 και το 1916, ιδέες που επρόκειτο να ανατρέψουν κυριολεκτικά τον επιστημονικό κόσμο. Οι ιδέες του αυτές έγιναν διάσημες ως **Ειδική και Γενική Θεωρία της Σχετικότητας**. Με το έργο του ο Αϊνστάιν έδωσε πραγματικά μία εντελώς διαφορετική τροπή στην εξέλιξη των ιδεών μας για το χώρο και το χρόνο και για να το αντιληφθείτε αυτό καλά, ας εξετάσουμε μία από τις πτυχές της νέας αυτής φυσικής.

Σύμφωνα με τα δεδομένα της κλασικής Νευτώνειας φυσικής, ένα αντικείμενο κινείται στο Διάστημα σε ευθεία γραμμή και με σταθερή ταχύτητα, εκτός και αν μια άλλη δύναμη επιδράσει σ' αυτό. Με άλλα λόγια, ένας πλανήτης θα κινούνταν σε ευθεία γραμμή, εάν δεν τον επηρέαζε η δύναμη της βαρύτητας του Ηλίου. Από τη νευτώνεια αυτή άποψη, λέμε ότι η βαρύτητα του Ηλίου έλκει τον πλανήτη κρατώντας τον σε μία ελλειπτική τροχιά. Στη φυσική της Σχετικότητας όμως, ένα αντικείμενο κινείται επίσης σε ευθεία γραμμή με σταθερή ταχύτητα, εκτός και αν ασκηθεί σ' αυτό κάποια δύναμη. Ο Αϊνστάιν επέμενε ότι αυτή η ευθεία γραμμή πρέπει να θεωρηθεί ως γραμμή στο χωρόχρονο αντί μόνο στο χώρο γιατί σύμφωνα με τη θεωρία της Σχετικότητας, η βαρύτητα δεν είναι μία «πραγματική» δύναμη! Ο Αϊνστάιν μας δίδαξε ότι η βαρυτική δύναμη του Ηλίου δεν έλκει τους πλανήτες και για τον ίδιο λόγο η βαρύτητα της Γης δεν έλκει προς τα κάτω το μήλο ή οποιοδήποτε άλλο αντικείμενο που πέφτει. Υπέθεσε, δηλαδή, ότι αυτό που συμβαίνει στην πραγματικότητα είναι το εξής: ένα μεγάλο σώμα ύλης, όπως ο Ήλιος, καμπυλώνει το

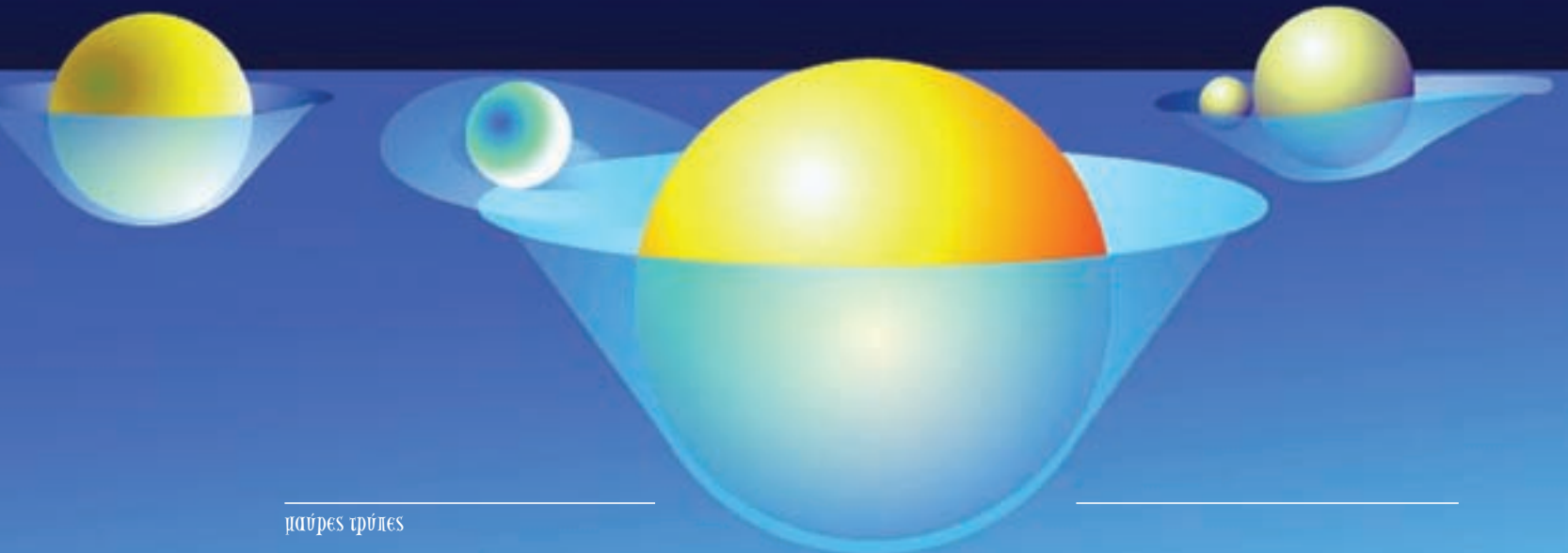
χωρόχρονο της περιοχής που το περιβάλλει. Και όσο πλησιέστερα πάμε στον Ήλιο τόσο μεγαλύτερη είναι η καμπυλότητα.

Για να το αντιληφθείτε αυτό καλύτερα, ας φανταστούμε ένα τεντωμένο επίπεδο σεντόνι από ελαστικό. Όταν τοποθετήσουμε ένα πορτοκάλι πάνω στο ελαστικό αυτό σεντόνι, θα σχηματισθεί αυτόματα ένα μικρό βαθούλωμα, έτσι ώστε ένας μικρός βόλλος που θα είναι ήδη τοποθετημένος κοντά στο πορτοκάλι αναγκαστικά θα κυλήσει προς αυτό. Είναι φυσικά φανερό ότι το πορτοκάλι δεν έλκει το βόλλο προς το μέρος του. Αυτό που συμβαίνει είναι μάλλον η δημιουργία ενός πεδίου από το πορτοκάλι (ενός δηλ. βαθουλώματος στο ελαστικό σεντόνι), έτσι ώστε ο βόλλος, ακολουθώντας το δρόμο της μικρότερης αντίστασης, κυλάει προς το πορτοκάλι.

Σε γενικές γραμμές λοιπόν, η φυσική της Σχετικό-

τητας εφαρμόζει την ίδια ιδέα που περιγράφηκε στη δομή του χωρόχρονου. Σύμφωνα με τη θεωρία του Αϊνστάιν ο χωρόχρονος, όπως το ελαστικό σεντόνι, είναι παραμορφωμένος από την παρουσία μεγάλων μαζών, όπως ο Ήλιος. Αυτή η παραμόρφωση του χωρόχρονου αποτελεί ένα πεδίο έλξης. Έτσι, σύμφωνα με τον Αϊνστάιν, ένας πλανήτης δεν κινείται σε ελλειπτική τροχιά γύρω από τον Ήλιο επειδή τον έλκει προς αυτόν η βαρυτική δύναμη του Ηλίου. Το βαρυτικό πεδίο που δημιουργείται από την ηλιακή παραμόρφωση του χωρόχρονου καθιστά την ελλειπτική τροχιά την πιο ευθεία τροχιά που μπορεί να διαγράψει ο πλανήτης.

Τα τελευταία 90 χρόνια, η βαρυτική θεωρία του Αϊνστάιν έχει γίνει αποδεκτή ως η πιο ικανοποιητική απ' όλες τις άλλες. Επιπλέον η θεωρία αυτή περιλαμβάνει με τον καλύτερο τρόπο όλα όσα γνωρίζουν μέχρι σήμερα οι επιστήμονες για τη βαρύτητα. Παρ' όλα



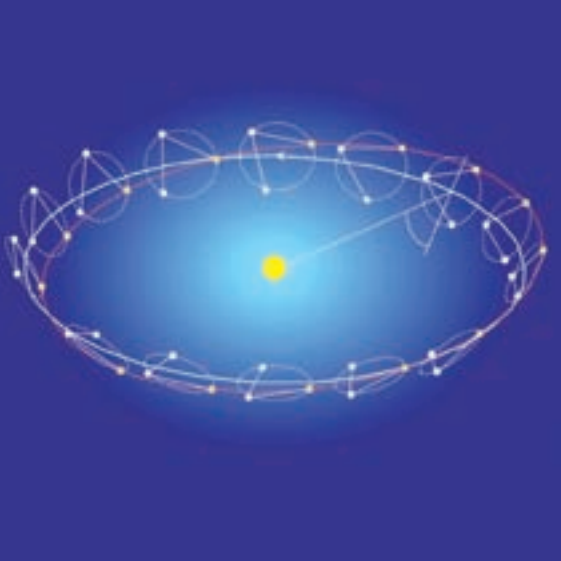


αυτά όμως ακόμη κι αυτή αφήνει ορισμένα βασικά ερωτήματα αναπάντητα όπως, η παραμόρφωση του χωρόχρονου συμβαίνει άραγε «αστραπιαία» μέσα στο χωρόχρονο ή μήπως μεταδίδεται σαν κίνηση κυμάτων; Η αναζήτηση του Αϊνστάιν για μια απάντηση στο ερώτημα αυτό, τον οδήγησε σ' ένα εκπληκτικό αποτέλεσμα. Ακριβώς όπως υπάρχουν κύματα φωτός τα οποία μεταφέρουν ενέργεια από τόπο σε τόπο, ο Αϊνστάιν συμπέρανε ότι θα πρέπει να υπάρχουν και βαρυτικά κύματα, τα οποία μεταφέρουν ενέργεια από τύπο σε τύπο. Θεώρησε δηλαδή ότι οι αυξανόμενες και οι μειούμενες δυνάμεις βαρύτητας ακτινοβολούνται προς τα έξω σαν τα κύματα που δημιουργούνται από την πτώση μιας πέτρας στην επιφάνεια μιας λίμνης.

Από πού όμως θα έρχονταν τέτοια κύματα βαρύτητας; Ο Αϊνστάιν, υπέθεσε ότι τα κύματα αυτά θα εκπέμπονταν από διαστημικά σώματα με τεράστιες μάζες κάτω από τεράστιων διαστάσεων βίαιες μεταβολές. Καταστροφικά κοσμικά συμβάντα, όπως η σπειροειδής σύμπτυξη ενός ζεύγους άστρων νετρονίων, θα πρέπει να εκπέμπουν κύματα βαρύτητας στο Διάστημα με ταχύτητα ίση με αυτήν του φωτός (300.000 km/s). Καθώς τα ταχυκίνητα αυτά κύματα έρχονται σε επαφή με διάφορα σωματίδια ύλης στο διάστημα, η ταχύτητα των σωματιδίων αυτών θα πρέπει να μεταβάλλεται έτσι, ώστε και τα σωματίδια αυτά να εκπέμπουν κύματα βαρύτητας. Ακόμη όμως και μ' αυτήν την αλυσιδωτή βαρυτική αντίδραση, ο Αϊνστάιν πίστευε ότι τα κύματα βαρύτητας ήταν τόσο αδύναμα, ώστε να μην γίνουν ποτέ αντιληπτά.

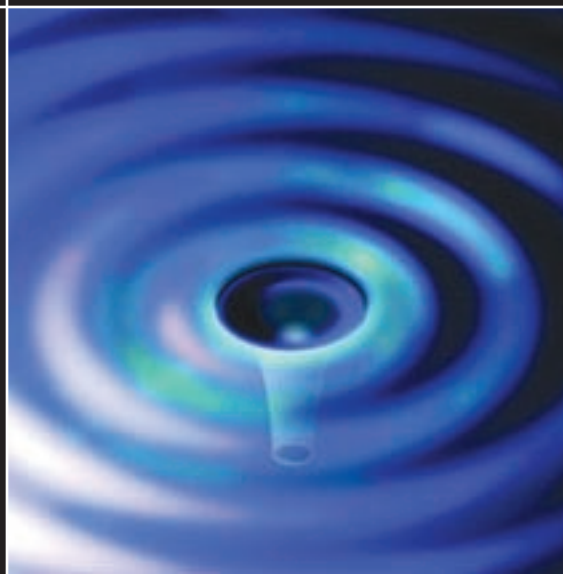
Όσο ζούσε ο Αϊνστάιν, η θεωρία του για τα βαρυτικά κύματα παρέμεινε χωρίς αποδείξεις. Σήμερα όμως οι ενδείξεις οδηγούν τους επιστήμονες να συμπεράνουν ότι ο Αϊνστάιν είχε για άλλη μια φορά δίκιο στους υπολογισμούς του για το Σύμπαν. Στη δεκαετία του 1960, μετά από πειράματα 10 ετών, ο καθηγητής του Πανεπιστήμιου του Μαίριλαντ, Τζόζεφ Γουέμπερ, ανήγγειλε ότι ήταν βέβαιος πλέον για την ύπαρξη των βαρυτικών κυμάτων. Ένα ειδικό όργανο που είχε κατασκευάσει, ένας ανιχνευτής βαρυτικής ακτινοβολίας, είχε καταγράψει ορισμένα σήματα που μόνον ως βαρυτικά κύματα μπορούσαν να εξηγηθούν.

Έκτοτε, η πρώτη αυτή προσπάθεια του Γουέμπερ παρακίνησε και άλλους επιστήμονες να κατασκευάσουν κι αυτοί νέους ανιχνευτές βαρυτικής ακτινοβολίας και συνεχίζουν να αναζητούν νέες μεθόδους για να αποδείξουν πειραματικά την ύπαρξη των βαρυτικών κυμάτων. Πάρτε για παράδειγμα την τεράστια πειραματική διάταξη ακτίνων λέιζερ LIGO (Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory) στην Πολιτεία της Λουιζιάνα των ΗΠΑ. Πρόκειται στην πραγματικότητα για μία γιγάντια κεραία με στόχο τον εντοπισμό των βαρυτικών κυμάτων της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας. Στην ίδια επαλήθευση στοχεύει, μεταξύ των άλλων, και μία συστοιχία διαστημοσυσκευών με την επωνυμία **«Laser Interferometer Space Antenna - LISA»**, στην οποία συνεργάζονται οι δύο μεγάλες Διαστημικές Υπηρεσίες της Ευρώπης και της Αμερικής, οι οποίες ελπίζουν ότι θα διευκρινίσουν μερικά από τα μεγαλύτερα ερωτηματικά που έχουμε σήμερα για το Σύμπαν.



# 6

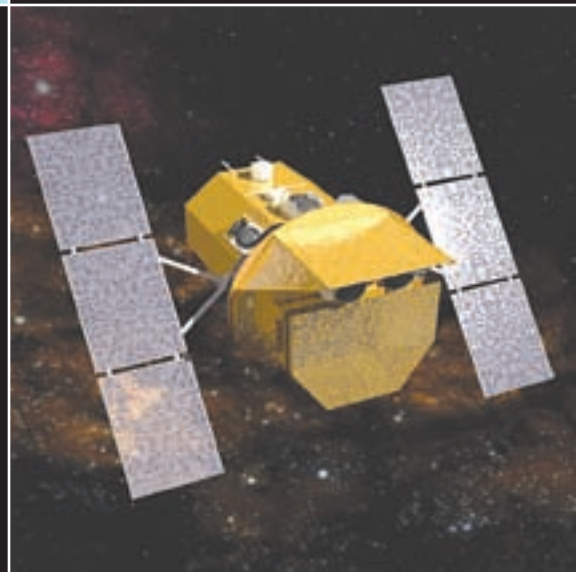
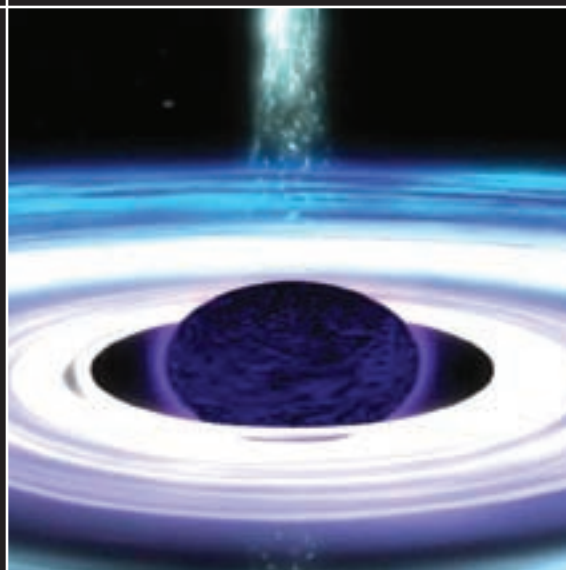
## παρατηρώντας το Σύμπαν με τα "μάτια" του Αϊνστάϊν



του Κώσια Κόκκοτα,  
Αναπληρωτή Καθηγητή  
στο Τμήμα Φυσικής του Α.Π.Θ.



Τα βαρυτικά κύματα είναι "κυματισμοί"  
του χωρόχρονου και κινούνται  
με την ταχύτητα του φωτός.



Ακριβώς έναν αιώνα μετά από μια μοναδική χρονιά για τη φυσική, ο Αϊνστάιν συνεχίζει να είναι επίκαιρος όσο ποτέ άλλοτε. Μέσα από μια πρόβλεψη της θεωρίας του για τη βαρύτητα, η επιστημονική κοινότητα ετοιμάζεται να ανιχνεύσει το Σύμπαν με άλλα «μάτια». Τα βαρυτικά κύματα, αναπόσπαστο τμήμα της σχετικιστικής θεωρίας του Αϊνστάιν για τη βαρύτητα, αναμένεται να ανιχνευθούν μέσα στα επόμενα 1-2 χρόνια και μαζί τους να ξεκινήσει μια πρωτόγνωρη χαρτογράφηση του Σύμπαντος, που θα ξεκινά από τις πρώτες στιγμές της δημιουργίας του.

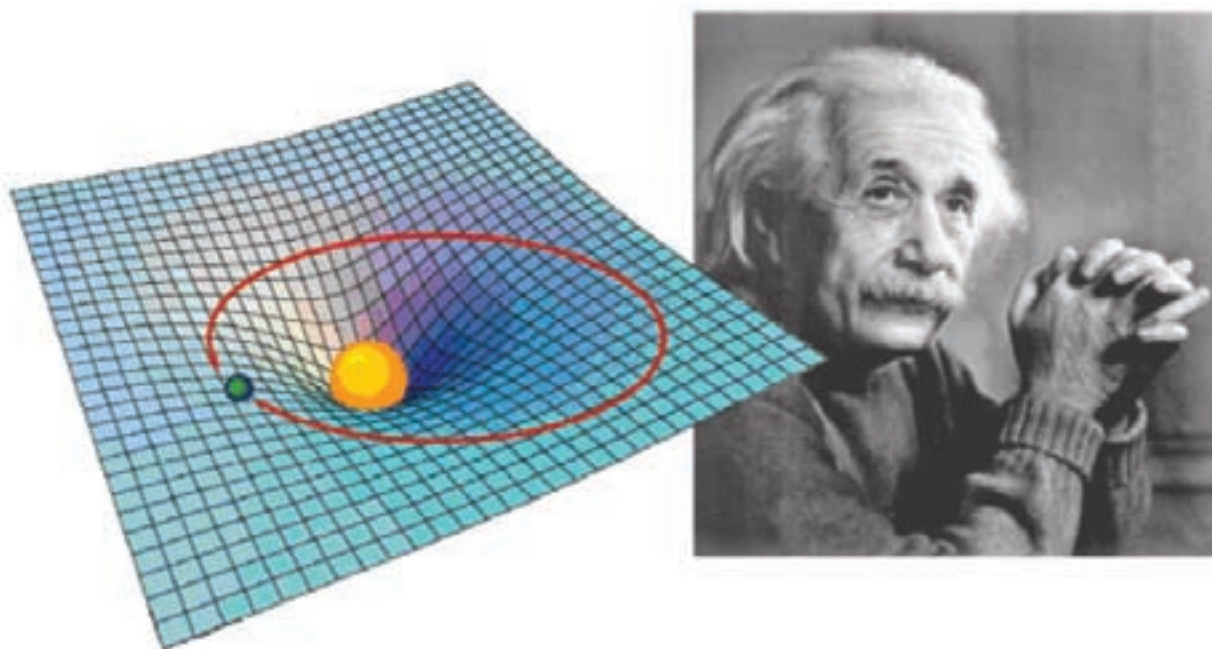
Πριν από 3,5 περίπου αιώνες (1665-1666), ο μεγάλος Άγγλος μαθηματικός και φυσικός Νεύτωνας, έθεσε τα θεμέλια της μαθηματικής ανάλυσης και χρησιμοποιώντας την έδειξε για πρώτη φορά τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί η βαρύτητα και εξήγησε την κίνηση των ουράνιων σωμάτων. Αυτή η χρονιά χαρακτηρίσθηκε ως *annus mirabilis* (έτος θαυμάτων) για την επιστήμη και στην ουσία αποτελεί την απαρχή της κλασικής φυσικής, αλλά και γενικότερα της σύγχρονης επιστημονικής σκέψης. Μετά από 2,5 αιώνες η μία παρατήρηση μετά την άλλη άρχισαν να δείχνουν ελλείψεις στην ακρίβεια της θεωρίας του Νεύτωνα και η επιστήμη των αρχών του 20ου αιώνα ωρίμαζε για να υποδεχθεί ένα νέο *annus mirabilis*. Μέσα σε ένα χρόνο ο «άσημος» υπαλληλάκος του γραφείου ευρεσιτεχνιών της Βέρνης, με πέντε μοναδικές εργασίες έμελε να δώσει το έναυσμα μιας θαυμαστής επιστημονικής επανάστασης, τα αποτελέσματα και οι συνέπειες της οποίας μπορούν να συγκριθούν μόνο με την επανάσταση του Νεύτωνα. Το 1905 ο Αϊνστάιν απέδειξε την ύπαρξη των ατόμων (αμφισβητούμενα έως τότε), παρουσίασε την Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας και έθεσε τα θεμέλια της Κβαντικής Θεωρίας.

Μπορεί να μη δημιούργησε καινούργια μαθηματικά, όπως ο Νεύτωνας, αλλά άλλαξε ριζικά την αντίληψή μας για το χώρο και το χρόνο. Αυτό ήταν όμως μόνο η αρχή, αφού για 50 χρόνια ο Αϊνστάιν προώθησε με μοναδικό τρόπο την έρευνα στη νεότερη φυσική προσπαθώντας να συμβιβάσει τις δύο βασικές θεωρίες που καθορίζουν τον κόσμο, την Κβαντική Θεωρία, η οποία εξηγεί με μοναδική ακρίβεια τα φαινόμενα του μικρόκοσμου και τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, που είναι η επικρατούσα θεωρία για τη βαρύτητα και εξηγεί τα φαινόμενα του μακρόκοσμου. Μισό αιώνα μετά το θάνατό του η συμβατότητα των δύο θεωριών συνεχίζει να αποτελεί το «ιερό δισκοπότηρο» της σύγχρονης φυσικής και το κύριο αντικείμενο έρευνας των θεωρητικών φυσικών της εποχής μας.

### Τι είναι τα βαρυτικά κύματα;

Η βαρύτητα είναι η ασθενέστερη από τις βασικές δυνάμεις που υπάρχουν στη φύση. Παρόλα αυτά κυριαρχεί στο Σύμπαν και είναι υπεύθυνη για την παρούσα μορφή του, αλλά και για τη μελλοντική του εξέλιξη. Οι ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις είναι απείρως ισχυρότερες, αλλά η ύπαρξη θετικών και αρνητικών φορτίων έχει ως αποτέλεσμα την αλληλοεξουδετέρωσή τους κι έτσι το Σύμπαν σε μεγάλη κλίμακα είναι ηλεκτρικά ουδέτερο. Κάθε σώμα δημιουργεί γύρω του ένα ηλεκτικό βαρυτικό πεδίο και με βάση τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας καμπυλώνει το χωρόχρονο που τον περιβάλλει. Η Θεωρία της Σχετικότητας πρεσβεύει ότι ο χώρος και ο χρόνος είναι άρρηκτα συνδεδεμένοι κι έτσι ο τρισδιάστατος χώρος που αντιλαμβανόμαστε στην καθημερινή μας πρακτική αντικαθίσταται από τον ενιαίο τετραδιάστατο χωρόχρονο.



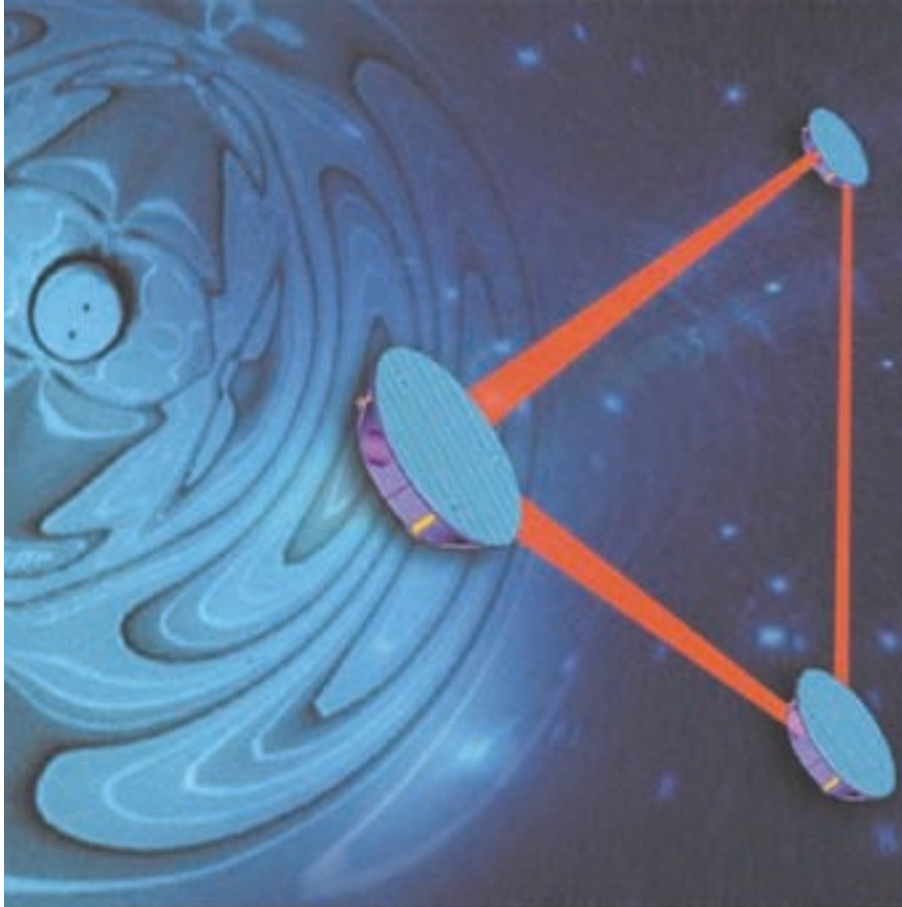


Αν φανταστούμε το χωρόχρονο σαν ένα επίπεδο δίχτυ, τότε κάθε σώμα που τοποθετούμε σ' αυτό προκαλεί μια τοπική καμπύλωση. Η καμπυλότητα αυτή σύμφωνα με τον Αϊνστάιν αποτελεί έκφραση της ύπαρξης του βαρυτικού πεδίου. Μεγαλύτερες συγκεντρώσεις μάζας δημιουργούν εντονότερες καμπυλώσεις. Οποιαδήποτε μεταβολή του βαρυτικού πεδίου, για παράδειγμα ένα δεύτερο σώμα, που περιφέρεται περί το κεντρικό, θα δημιουργεί μεταβολές στην καμπυλότητα του δικτυού (χωρόχρονου) που θα διαδίδεται με τη μορφή βαρυτικών κυμάτων.

Τα βαρυτικά κύματα, με βάση την αρχική πρόταση του Αϊνστάιν, που πρωτοδιατυπώθηκε το 1916, είναι «κυματισμοί» του βαρυτικού πεδίου ή, ακόμη καλύτερα, του χωρόχρονου και κινούνται με την ταχύτητα του φωτός. Στην κλασική θεωρία του Νεύτωνα για τη βαρύτητα, κάθε μεταβολή του βαρυτικού πεδίου θα γινόταν αισθητή αυτόματα σε κάθε σημείο του Σύμπαντος, ενώ, με βάση τη θεωρία της Σχετικότητας, η πληροφορία για την αλληλαγή του βαρυτικού πεδίου

διαδίδεται στο χώρο με πεπερασμένη ταχύτητα, την ταχύτητα του φωτός.

Η αλληλαγή του βαρυτικού πεδίου γίνεται αισθητή από τα διάφορα σώματα με τη μορφή παλιρροιογόνων δυνάμεων. Οι παλιρροιογόνες δυνάμεις έχουν την τάση να παραμορφώνουν τα σώματα (ας θυμηθούμε τις παλίρροιες στη Γη λόγω της έλξης της Σελήνης). Επομένως αν θέλουμε να μετρήσουμε τις μεταβολές



Οι κυμάνσεις που εικονίζονται στο σχήμα αντιστοιχούν στις κυματοειδείς διαταραχές (βαρυτικά κύματα) του χωρόχρονου που δημιουργούν δύο μαύρες τρύπες (κέντρο της εικόνας) που περιφέρονται η μία περί την άλλη. Ο τριγωνικού σχήματος διαστημικός ανιχνευτής βαρυτικών κυμάτων (LISA) θα καταγράφει αυτές τις κυμάνσεις του χωρόχρονου.

του βαρυτικού πεδίου, δηλαδή τα βαρυτικά κύματα, θα πρέπει να παρατηρούμε τις μεταβολές της απόστασης δύο αντιδιαμετρικών σημείων του σώματος. Ας υποθέσουμε πως ένα βαρυτικό κύμα προσκρούει κάθετα σε μια περιοχή της Γης, στην οποία έχουμε τοποθετήσει δύο μακριές ράβδους σε σχήμα «L». Τότε, λόγω της διέλευσης του βαρυτικού κύματος, μεταβάλλεται περιοδικά το μήκος των δύο ράβδων.

Όταν το μήκος της μιας ελαττώνεται, της άλλης αυξάνεται και αντιστρόφως, με ρυθμό που προσδιορίζεται από τη συχνότητα του κύματος. Αν φανταστούμε τον εαυτό μας σαν έναν ανιχνευτή βαρυτικών κυμάτων να στέκεται με ανοικτά τα χέρια, τότε ένα διερχόμενο βαρυτικό κύμα θα αλλιάζει το ύψος μας περιοδικά, ενώ θα αυξομειώνει και το άνοιγμα των χεριών μας. Αν μετρηθούμε, θα είμαστε ψηλότεροι ή κοννότεροι



κατά κάποια τρισεκατομμυριοστά του πάχους μια τρίκας του κεφαλιού μας!

Σ' αυτήν τη λογική βασίζεται και η κατασκευή των σύγχρονων ανιχνευτών βαρυτικών κυμάτων. Δύο δέσμες λέιζερ εκπέμπονται από ένα κοινό σημείο και ανακλώνται σε δύο κάτοπτρα τα οποία βρίσκονται 3 με 4 km μακριά. Όταν το φως των δύο δεσμών επιστρέψει πίσω, «προστίθεται» σε ένα φωτοανιχνευτή. Αν οι δύο δέσμες έχουν διανύσει ακριβώς την ίδια απόσταση, τότε η συμβολή τους θα μας δώσει μια δέσμη ισχυρότερη από τις επιμέρους, αντίθετα, αν οι δύο δέσμες έχουν διανύσει διαφορετικές αποστάσεις, η συμβολή τους θα δώσει μια ασθενέστερη δέσμη. Ένα διερχόμενο βαρυτικό κύμα θα μεταβάλλει περιοδικά τις αποστάσεις των δύο κατόπτρων από το κεντρικό σημείο και η συμβολή των δύο δεσμών λέιζερ θα δίνει άλλοτε ισχυρότερο και άλλοτε ασθενέστερο τελικό σήμα. Επομένως η μεταβολή της

έντασης του φωτός στο φωτοανιχνευτή αποτελεί ένδειξη της διέλευσης ενός βαρυτικού κύματος. Στους σύγχρονους ανιχνευτές είναι δυνατόν να μετρηθούν μεταβολές στην απόσταση των κατόπτρων της τάξης του 0,00000000000000000001 cm. Τέτοιου είδους μεταβολές αναμένεται να δημιουργούνται από ισχυρές πηγές βαρυτικών κυμάτων, όπως η έκρηξη ενός υπερκαινοφανούς αστέρα σε απόσταση 50 εκατομμυρίων ετών φωτός από τη Γη (για παράδειγμα στο σμήνος γαλαξιών της Παρθένου). Αν φυσικά η πηγή των βαρυτικών κυμάτων είναι στο Γαλαξία μας, τότε, επειδή η πιθανή απόσταση από τη Γη θα είναι 1000 τουλάχιστον φορές μικρότερη, το σήμα που θα λάβουμε θα είναι 1000 φορές ισχυρότερο.

Με βάση τα παραπάνω, δημιουργείται η εντύπωση ότι η ενέργεια που μεταφέρεται από τα βαρυτικά κύματα είναι μικρή. Εν τούτοις, η ροή ενέργειας με τη μορφή βαρυτικών κυμάτων από τον υπερκαινοφανή

Η κατασκευή των υπερευαίσθητων ανιχνευτών βαρυτικών κυμάτων, έχει σχεδόν περατωθεί. Στην εικόνα διακρίνουμε τους δύο βραχίονες μήκους 3 km και τον κεντρικό σταθμό του ιταλογαλλικού ανιχνευτή VIRGO κοντά στην Πίζα της Ιταλίας. Το αμερικανικό πρόγραμμα (LIGO) περιλαμβάνει την κατασκευή δύο ανιχνευτών, οι οποίοι αρχίζουν δοκιμαστική λειτουργία στο τέλος το χρόνου. Ο ένας βρίσκεται στο Χάνφορντ της πολιτείας Ουάσινγκτον και ο δεύτερος στη Λουιζιάνα· οι ανιχνευτές αυτοί έχουν βραχίονες μήκους 4 km. Η ευαισθησία ενός ανιχνευτή είναι ανάλογη του μήκους των βραχιόνων του και των εξωγενών θορύβων του περιβάλλοντος. Παρόμοιοι ανιχνευτές έχουν τεθεί πρόσφατα σε λειτουργία στο Ανόβερο της Γερμανίας (γερμανοβρετανική συνεργασία) με βραχίονες 600 m (GEO) και στο Κιότο της Ιαπωνίας με βραχίονες 300 m (TAMA), ενώ σχεδιάζονται ακόμη μεγαλύτεροι και πλέον ευαίσθητοι ανιχνευτές οι οποίοι θα λειτουργήσουν την επόμενη 10ετία.



που προαναφέραμε, θα είναι 10.000 φορές περισσότερη από όση μας δίνει το λαμπρότερο αστέρι του νυχτερινού ουρανού. Αν μπορούσαμε να μετατρέψουμε την ενέργεια των βαρυτικών κυμάτων του παραδείγματός μας σε ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, θα παρατηρούσαμε ένα σώμα στον ουρανό που θα ήταν λαμπρότερο από την πανσέληνο, αν και θα βρισκόταν σε απόσταση ένα δισεκατομμύριο δισεκατομμύρια φορές μακρύτερα απ' ό,τι η Σελήνη. Η δυσκολία στην ανίχνευση των βαρυτικών κυμάτων οφείλεται στην υψηλή τους διαπερατότητα, διότι, για παράδειγμα, διαπερνούν τη Γη χωρίς να χάσουν σημαντικό ποσοστό της ενέργειάς τους (σχεδόν τίποτα). Αντίθετα, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα (π.χ. το φως) απορροφώνται από την ύλη, για παράδειγμα από το μάτι μας, κι έτσι τα μακρινά αντικείμενα γίνονται ορατά, ακόμη κι αν η εκπνευόμενη ροή ενέργειας είναι πάρα πολύ μικρή. Αυτό όμως που ακούγεται ως μειονέκτημα των βαρυτικών κυμάτων έχει και συγκεκριμένες πρακτικές ωφέλειες. Τα βαρυτικά κύματα ταξιδεύουν στο χώρο διά μέσου αστέρων, γαλαξιών ή νεφών ύλης ουσιαστικά ανεμπόδιστα. Επομένως, αν εμείς μπορέσουμε να καταγράψουμε τα ίχνη της διέλευσής τους, θα παρατηρούμε περιοχές του Σύμπαντος (στις οποίες δημιουργήθηκαν) που αλλιώς θα ήταν αόρατες, αν τις παρατηρούσαμε με τις κλασικές μεθόδους της αστρονομίας, παραδείγματος χάριν με οπτικά τηλεσκόπια, ραδιοτηλεσκόπια ή με τηλεσκόπια ακτίνων Χ.

Αρκεί όμως αυτό για να μιλήσουμε για χρησιμότητα των βαρυτικών κυμάτων; Οι επιστήμονες θέλουν να ερευνούν το άγνωστο και η ίδια η ανίχνευση των βαρυτικών κυμάτων αποτελεί για την επιστήμη και την τεχνολογία μεγάλη πρόκληση. Όμως, οι κυβερνήσεις των προηγμένων επιστημονικά χωρών, προκειμέ-

νου να χρηματοδοτήσουν ερευνητικά προγράμματα, απαιτούν χειροπιαστά και προβλέψιμα αποτελέσματα. Για παράδειγμα, στο χώρο της αστρονομίας τέτοια αποτελέσματα είναι η εύρεση νέων ουράνιων σωμάτων, η μελέτη των διαφόρων εξελικτικών σταδίων των αστέρων και των γαλαξιών και, τέλος, η συνεισφορά στην κατανόηση της δημιουργίας του Σύμπαντος. Η ανίχνευση των βαρυτικών κυμάτων, πρόκειται να μας παράσχει πληροφορίες για όλα τα παραπάνω και ίσως μας επιφυλάσσει και εκπλήξεις.

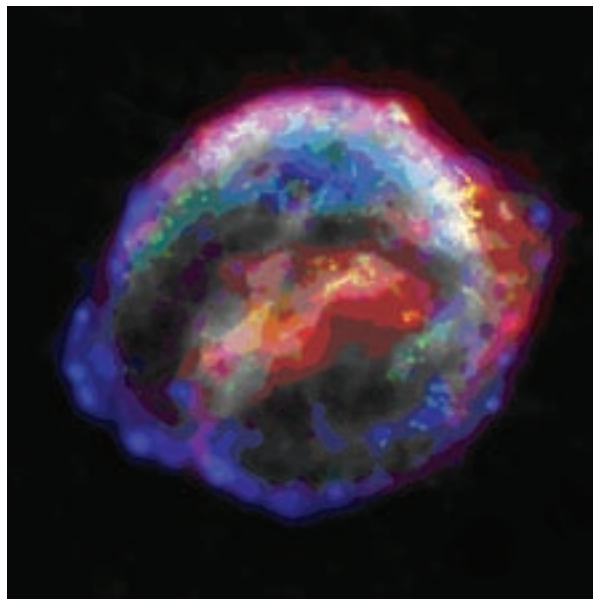
### Πηγές βαρυτικών κυμάτων

Σήμερα πιστεύουμε πως μια από τις πλέον ισχυρές πηγές βαρυτικών κυμάτων είναι τα ζεύγη αστέρων νετρονίων (ένα κουταλάκι ύλης αυτών των αστέρων ζυγίζει περί το ένα δισεκατομμύριο τόνους!) ή τα ζεύγη μαύρων τρυπών (σκοτεινά σώματα με ισχυρότατο βαρυτικό πεδίο που δεν επιτρέπει ούτε στο φως να ξεφύγει). Καθώς τα δύο σώματα περιφέρονται το ένα γύρω από το άλλο (όπως η Γη γύρω από τον Ήλιο), το βαρυτικό τους πεδίο αλληλάζει και δημιουργούνται βαρυτικά κύματα που, καθώς απομακρύνονται, αφαιρούν κινητική ενέργεια από το ζεύγος. Το αποτέλεσμα είναι τα δύο σώματα να πλησιάζουν συνεχώς και μάλιστα, με επιταχυνόμενο ρυθμό. Αυτό αποτελεί πρόβλεψη της θεωρίας κι έχει επιβεβαιωθεί παρατηρησιακά από τους Αμερικανούς επιστήμονες Hulse και Taylor το 1974 (για την ανακάλυψή τους αυτή τους απονεμήθηκε το βραβείο Nobel Φυσικής το 1993). Στα τελευταία στάδια της εξέλιξης του ζεύγους τα δύο αστρικά σώματα θα περιφέρονται το ένα περί το άλλο με εξωφρενικά μεγάλες ταχύτητες. Για παράδειγμα δύο αστέρια νετρονίων με μάζα όσο ο Ήλιός μας και ακτίνες μόνο 10 km (ο Ήλιος έχει ακτίνα 700.000 km), θα περιφέρονται το ένα περί



το άλλο 500 φορές το δευτερόλεπτο. Όπως καταλαβαίνουμε, το βαρυτικό πεδίο θα είναι ισχυρότατο, η μεταβολή του τρομακτική και η εκπεμπόμενη ενέργεια σε βαρυτικά κύματα θα είναι ισοδύναμη με την ενέργεια που θα εκπέμψει ο Ήλιός μας συνολικά στα δισεκατομμύρια χρόνια της ζωής του. Προσοχή όμως, αυτό το τρομακτικό ποσό ενέργειας θα εκπέμφθει σε ένα χρονικό διάστημα 10-15 λεπτών! Τέτοια βαρυτικά κύματα αναμένεται να ανιχνεύονται από πηγές που βρίσκονται μέχρι και 100 τρισεκατομμύρια τρισεκατομμυρίων χιλιόμετρα μακριά ή, καλύτερα, αφού ταξιδέψουν για ένα δισεκατομμύριο χρόνια (για σύγκριση αναφέρουμε πως, αν προερχόταν από τον Ήλιο, το ταξίδι τους θα διαρκούσε μόνο 8 λεπτά). Αν μάλιστα το ζεύγος μας αποτελείται από δύο υπερμεγέθεις μαύρες τρύπες (με μάζες μερικά εκατομμύρια φορές τη μάζα του Ηλίου μας), από αυτές που ελλοχεύουν στα κέντρα των γαλαξιών, τότε θα μπορούμε να ανιχνεύουμε βαρυτικά κύματα από πηγές που βρίσκονται στα όρια του Σύμπαντος! Πρέπει να επισημάνουμε εδώ ότι τα διπλά συστήματα αστερών νετρονίων και οι μαύρες τρύπες αποτελούνται από θερμικώς νεκρά σώματα και επομένως, έχουν συνήθως ελάχιστη εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, οπότε πρακτικά είναι αδύνατον να τα ανιχνεύσουμε με άλλο τρόπο.

Ο πλέον εντυπωσιακός τρόπος «συνταξιοδότησης» ενός αστεριού είναι το πέρασμά του από το στάδιο του υπερκαινοφανούς. Τα ιδιαίτερος υπερμεγέθη αστέρια, αυτά που έχουν μάζα μεγαλύτερη από τον Ήλιό μας, στα τελευταία στάδια της ζωής τους σταματούν την εξέλιξή τους με εντυπωσιακό τρόπο και αδρανοποιούνται εκτινάσσοντας τα εξωτερικά τους στρώματα. Το εσωτερικό τους καταρρέει για να δη-



Το κατάλοιπο της έκρηξης ενός υπερκαινοφανούς (supernova) που παρατηρήθηκε από τον Γερμανό αστρονόμο Γιохάνες Κέπλερ το 1604. Βαρυτικά κύματα, που εκπέμπονται κατά την έκρηξη τέτοιων υπερκαινοφανών αποτελούν εξαιρετικές πηγές για τους ανιχνευτές βαρυτικών κυμάτων.

μιουργήσει ένα υπερσυμπαγές αστέρα νετρονίων ή μια μαύρη τρύπα. Στη φάση της έκρηξης, αλλά και στη συνέχεια έως ότου το κεντρικό υπέρπυκνο σώμα ισορροπήσει, το βαρυτικό πεδίο μεταβάλλεται εντονότατα και τεράστια ποσά ενέργειας εκλύονται με τη μορφή βαρυτικών κυμάτων. Το τι ακριβώς συμβαίνει εκεί είναι τεράστιας σημασίας για την κατανόηση της φυσικής της ύλης σε συνθήκες, όπου, σε θερμοκρασίες μερικών εκατοντάδων δισεκατομμυρίων βαθμών και παρουσία ισχυρότατων βαρυτικών πεδίων, εξελίσσεται μια διαδικασία δημιουργίας υπέρπυκνης ύλης από νετρόνια, κουάρκ και άλλα εξωτικά

σωματίδια. Η παρατήρηση όμως αυτών των διαδικασιών παρεμποδίζεται από τα εξωτερικά στρώματα της ύλης που έχει εκτινάξει στα αρχικά του στάδια ο υπερκαινοφανής. Πρακτικά, ο πυρήνας του αστέρα είναι αόρατος στην παρατήρηση μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Αντίθετα, είναι ορατός σε παρατηρήσεις βασισμένες στη βαρυτική ακτινοβολία. Το νέφος ύλης που εκτινάχθηκε επιτρέπει την ανεμπόδιστη διέλευση των βαρυτικών κυμάτων. Δύο-τρία χρόνια μετά τη λειτουργία των πρώτων ανιχνευτών, οι επιστήμονες αναμένεται να συλλέξουν δεδομένα για μερικές δεκάδες υπερκαινοφανείς. Αυτές οι πληροφορίες αναμένεται να σηματοδοτήσουν μια εκρηκτική επιστημονική άνθηση στο χώρο των στοιχειωδών σωματιδίων και της φυσικής των ρευστών σε τρομακτικές θερμοκρασίες και πιέσεις, αλλά και την κατανόηση της διαδικασίας γέννησης των αστέρων νετρονίων και των μαύρων τρυπών.

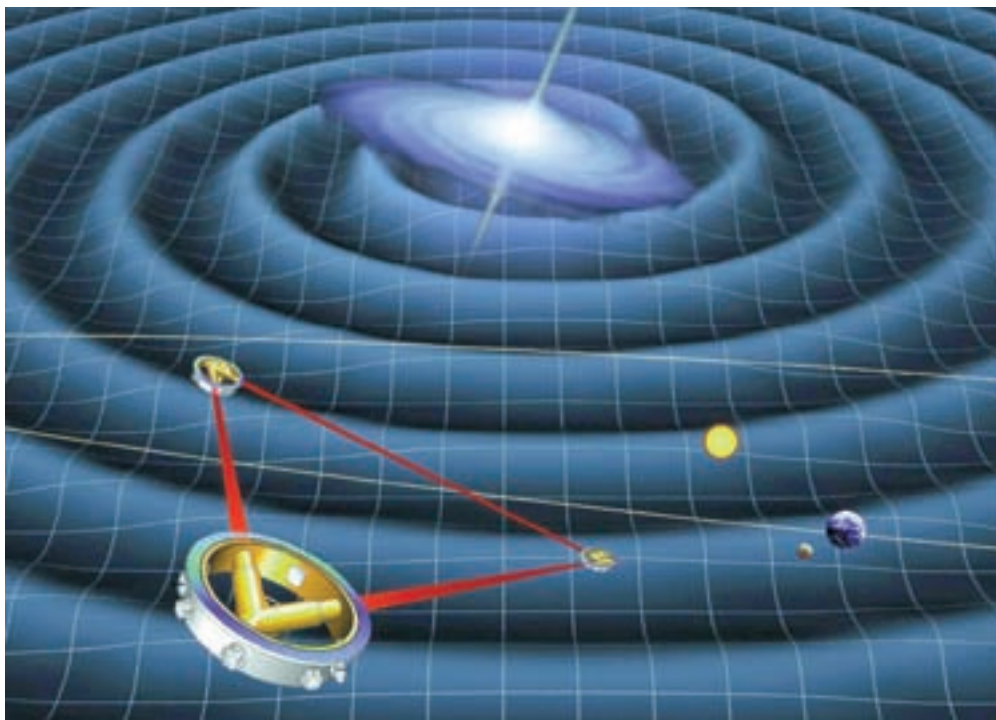
Η πιο σημαντική ένδειξη για τη δημιουργία του Σύμπαντος από μία Μεγάλη Έκρηξη είναι η ακτινοβολία μικροκυμάτων, η οποία είναι κατάλοιπο των αρχικών υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύχθηκαν κατά την έκρηξη. Στα 14 δισεκατομμύρια χρόνια που έχουν παρέλθει το Σύμπαν διογκώνεται συνεχώς και η θερμοκρασία του ελαττώνεται αναλόγως. Η ακτινοβολία μικροκυμάτων προβλέφθηκε θεωρητικά πριν από μισό αιώνα από τον George Gamow το 1948 και ανακαλύφθηκε από τους Penzias και Wilson το 1965 (τιμήθηκαν με το Nobel Φυσικής το 1978). Αντίστοιχα με το θερμικό κατάλοιπο της Μεγάλης Έκρηξης, προβλέπεται να υπάρχει και σε μορφή βαρυτικών κυμάτων ένα κατάλοιπο των αρχικών διαταραχών του βαρυτικού πεδίου, δηλαδή μια βαρυτική ακτινοβολία υποβάθρου, που θα καταγράψει τη βρεφική

ηλικία του Σύμπαντος. Τα διάφορα μοντέλα για τη δημιουργία του Σύμπαντος προβλέπουν την ύπαρξή της αν και υπάρχουν αρκετές διαφωνίες για τη συχνότητα εκπομπής της ακτινοβολίας και την ισχύ της. Η παρατήρηση αυτής της ακτινοβολίας θα βοηθήσει τους επιστήμονες στην απόρριψη ενός αριθμού θεωριών γένεσης του Σύμπαντος, κυρίως όμως θα μας βοηθήσει να «φωτογραφήσουμε» το Σύμπαν την ώρα της γένεσής του! Ο λόγος είναι ότι η θερμική ακτινοβολία υποβάθρου μας πληροφορεί για τη μορφή του Σύμπαντος μερικές εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια μετά τη γένεσή του (παιδική ηλικία), ενώ η ακτινοβολία υποβάθρου σε βαρυτικά κύματα θα μας δώσει πληροφορίες για το πώς ήταν το Σύμπαν μερικά τρισεκατομμυριοστά του πρώτου δευτερολέπτου μετά τη δημιουργία του!

Στην αστρονομία, έως τώρα, η ανάπτυξη νέων οργάνων, που ήταν σε θέση να παρατηρούν σε μια διαφορετική περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος μας επιφύλασσε μια σειρά από εκπλήξεις. Για παράδειγμα, η ραδιοαστρονομία (ανίχνευση πηγών στο ραδιοφωνικό «παραθύρο»), πέραν των επαναστατικών της συνεισφορών στη μελέτη γνωστών αστρονομικών αντικειμένων, έφερε στο φως τους πάλσαρ (pulsars) και τους κβάζαρ (quasars), εξωτικά, έως τότε, αντικείμενα, που βοήθησαν σημαντικά στην κατανόηση της εξέλιξης των αστέρων και των γαλαξιών. Η αστρονομία ακτίνων-γ έχει ανατρέψει πολλή από τα κλασικά μοντέλα ακτινοβολίας των αστέρων κι έχουμε πρόσφατα καταγράψει μερικές από τις πιο εντυπωσιακές εκρήξεις (αόρατες σε άλλες ακτινοβολίες) κατά τις οποίες τα εκλυόμενα ποσά ενέργειας υπολείπονται μόνο αυτών της Μεγάλης Έκρηξης. Αντίστοιχα, αναμένουμε πως ένα μεγάλο ποσό της



Ο διαστημικός ανιχνευτής βαρυτικών κυμάτων LISA αναμένεται να τεθεί σε λειτουργία το 2012 και αποτελεί συνεργασία της ESA (Ευρωπαϊκή Διαστημική Επιτροπή) και της Αμερικανικής NASA. Ο διαστημικός ανιχνευτής κυμάτων βαρύτητας, θα βρίσκεται σε τροχιά γύρω από τον Ήλιο, ανάλογη με αυτή της Γης, και οι βραχίονές του θα έχουν μήκος περί τα 5 εκατομμύρια χιλιόμετρα. Η Ελλάδα πρόσφατα έγινε μέλος της ESA και μέσω αυτής θα συμμετάσχει στην κοινή προσπάθεια για την ανίχνευση βαρυτικών κυμάτων.

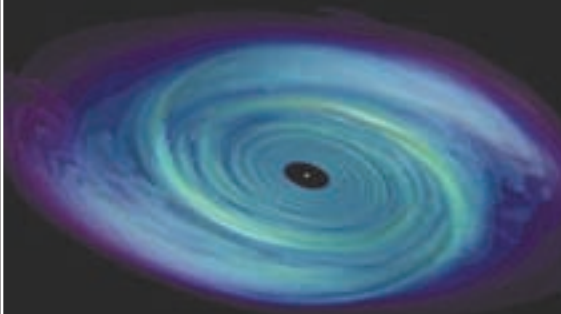


αόρατης ύλης που υπάρχει στο Σύμπαν, σε μορφή σκοτεινών αντικειμένων (π.χ. μαύρες τρύπες), αλλά και εξωτικά αστρικά σώματα που δεν προβλέπονται από τη θεωρία, θα κάνει ορατή την παρουσία της μέσω της βαρυτικής ακτινοβολίας. Οι επιστήμονες στην αυγή της νέας χιλιετίας έχουν κάθε λόγο να πιστεύουν ότι το άνοιγμα ενός νέου «βαρυτικού» παραθύρου θα δημιουργήσει μια επανάσταση στην αντίληψή μας για το Σύμπαν στο οποίο ζούμε.

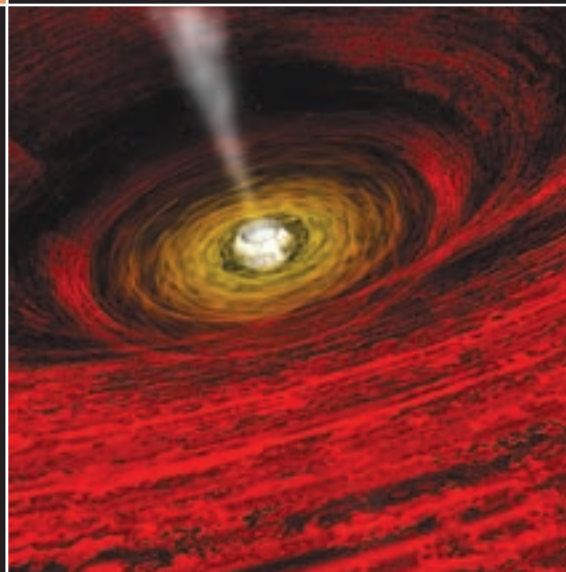
Το 2005 συμπληρώθηκαν 100 χρόνια από την επαναστατική είσοδο του Αϊνστάιν στην επιστημονική σκηνή, ενώ σε μια δεκαετία περίπου θα γιορτάσουμε τα 100 χρόνια από την παρουσίαση ενός από τα πιο

όμορφα δημιουργήματα της ανθρώπινης σκέψης, τη θεωρία του Αϊνστάιν για τη βαρύτητα, τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας. Απόρροια αυτής της θεωρίας είναι και τα βαρυτικά κύματα, που αναμένεται να αποκαλύψουν αόρατες και άγνωστες ως σήμερα πτυχές ενός πολύπλοκου και εκπληκτικού Σύμπαντος. Το ταξίδι της επιστημονικής γνώσης είναι μακρύ και μάλλον βρισκόμαστε μόνο στην αρχή του. Ο μοναδικός φάρος σκέψης του 20<sup>ου</sup> αιώνα, ο Άλμπερτ Αϊνστάιν, φώτισε τα προηγούμενα 100 χρόνια το δρόμο των θετικών επιστημών και θα συνεχίσει για αρκετούς αιώνες ακόμη να αποτελεί σημείο αναφοράς της σύγχρονης επιστημονικής σκέψης.

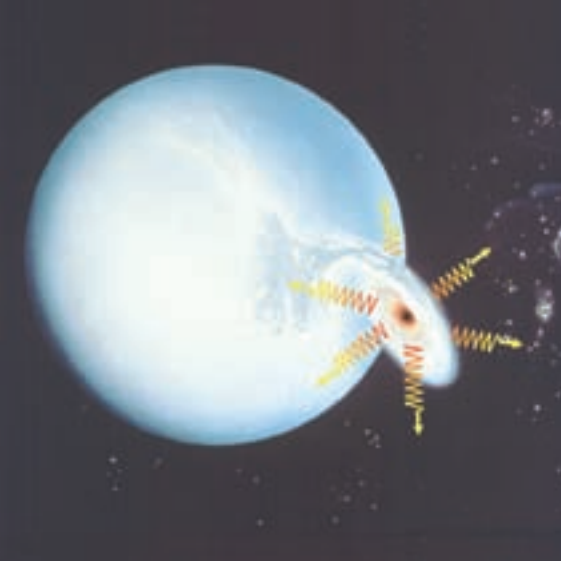
7



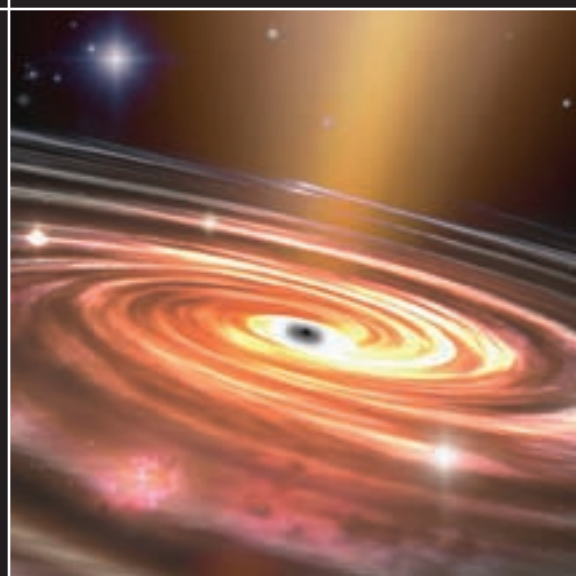
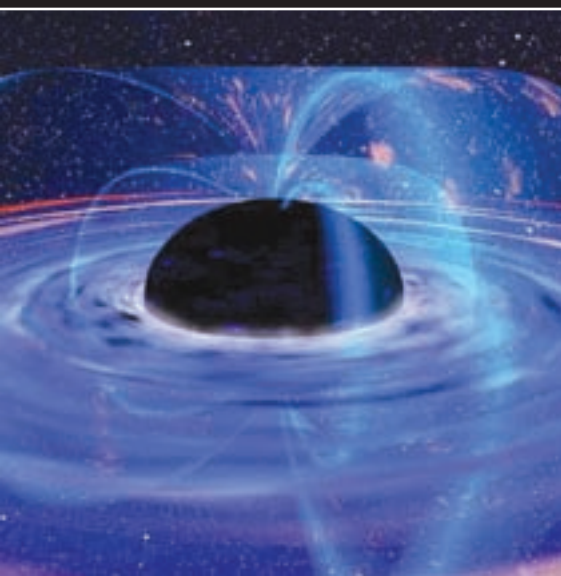
ΟΙ ΠΥΛΕΣ  
ΤΗΣ ΚΟΛΑΣΗΣ







Μια μαύρη τρύπα είναι ένα σώμα απλό, το μόνο που χρειάζεται να γνωρίζουμε γι' αυτήν είναι η μάζα που περιέχει, ο ρυθμός της περιστροφής της και το ηλεκτρικό της φορτίο.



Το Μάιο του 1006 μ.Χ. ένας καλόγερος έκανε το συνθισμένο νυχτερινό του περίπατο στον κήπο ενός μοναστηριού της Ελβετίας. Κάποια στιγμή σήκωσε τα μάτια του προς τον ουρανό, όπως έκανε κάθε βράδυ, προκειμένου να θαυμάσει τα ομαδοποιημένα, στους γνωστούς τους αστερισμούς, άστρα. Χαμηλά στο νότιο ορίζοντα και ανάμεσα στα αδύναμα άστρα του αστερισμού του Λύκου, αντίκρισε ένα εκθαμβωτικό αστραφτερό φωτεινό σημείο, που έλαμπε με τη μισή σχεδόν ένταση της πανσελήνου. Ήταν η λαμπρότερη έκρηξη σουπερνόβα που έχει παρατηρηθεί ποτέ και η λάμψη της χρειάστηκε δύο χρόνια για να σβήσει τελείως.

Δέκα σχεδόν αιώνες πέρασαν από τότε χωρίς κάποιος να ξαναδεί οτιδήποτε σ' εκείνο το σημείο τ' ουρανού μέχρι το 1965, οπότε ένα από τα πιο σύγχρονα ραδιοτηλεσκόπια κατέγραψε ορισμένες παράξενες ραδιοακτινοβολίες, που προέρχονταν από εκεί. Ακόμη και σήμερα το μόνο που έχουμε ανακαλύψει εκεί πάνω είναι μερικά αραχνοΰφανα αεριώδη στοιχεία και ορισμένους αχνούς ψιθυρισμούς ακτίνων Χ. Παρ' όλα αυτά πολλοί σύγχρονοι αστροφυσικοί υποπετεύονται ότι τα σήματα αυτά προέρχονται από το πιο παράξενο ίσως ουράνιο αντικείμενο σ' ολόκληρο το Σύμπαν: μια αόρατη **Μαύρη Τρύπα**, ένα σημείο στο χωρόχρονο, όπου κάποτε ζούσε ένα από τα πιο γιγάντια άστρα του Γαλαξία μας.

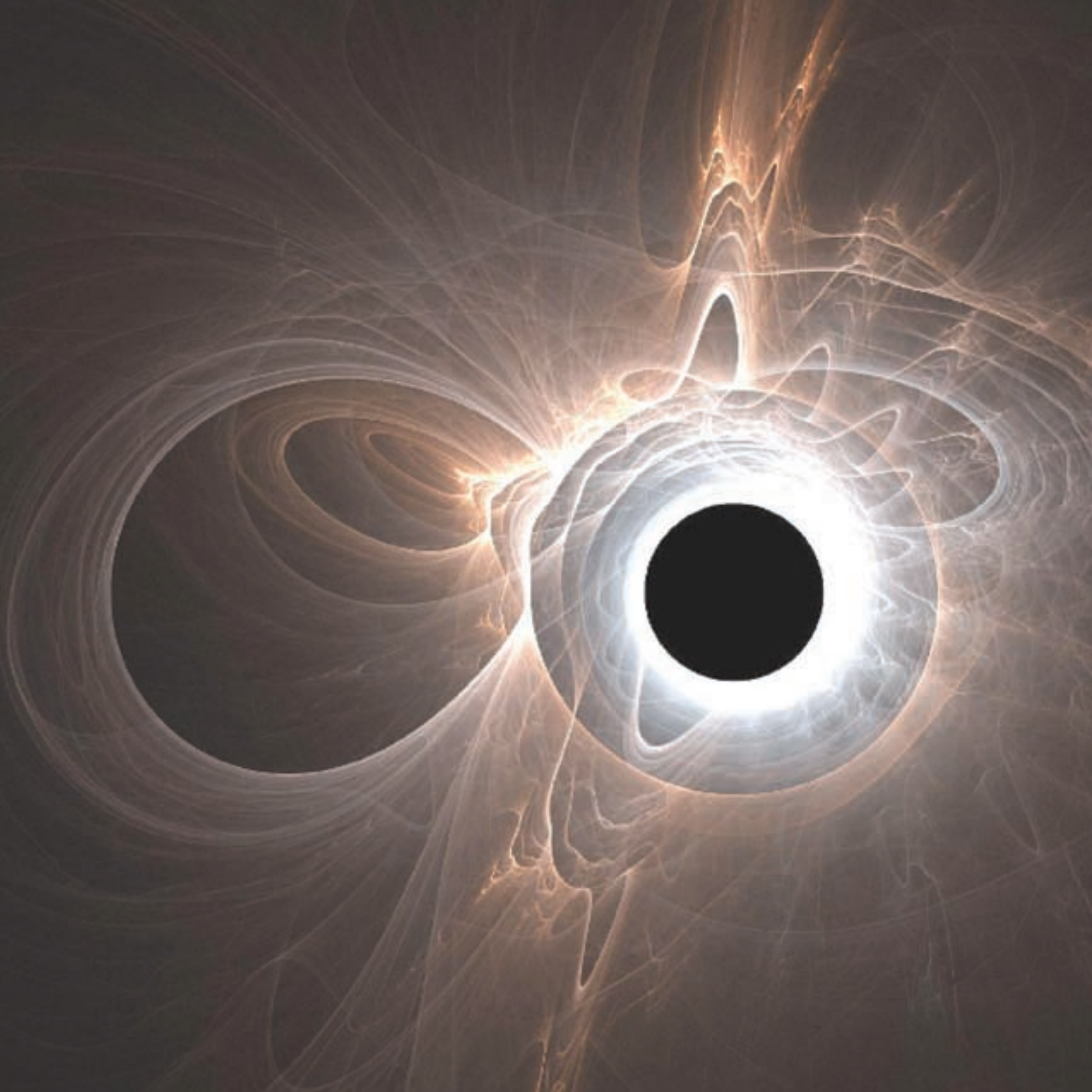
Τίποτα δεν μπορεί να συγκριθεί όπως είπαμε με τη βαρυτική δύναμη μιας μαύρης τρύπας, γιατί μία μαύρη τρύπα είναι πραγματικά ένα από τα πιο μυστηριώδη ουράνια αντικείμενα στο εσωτερικό της οποίας

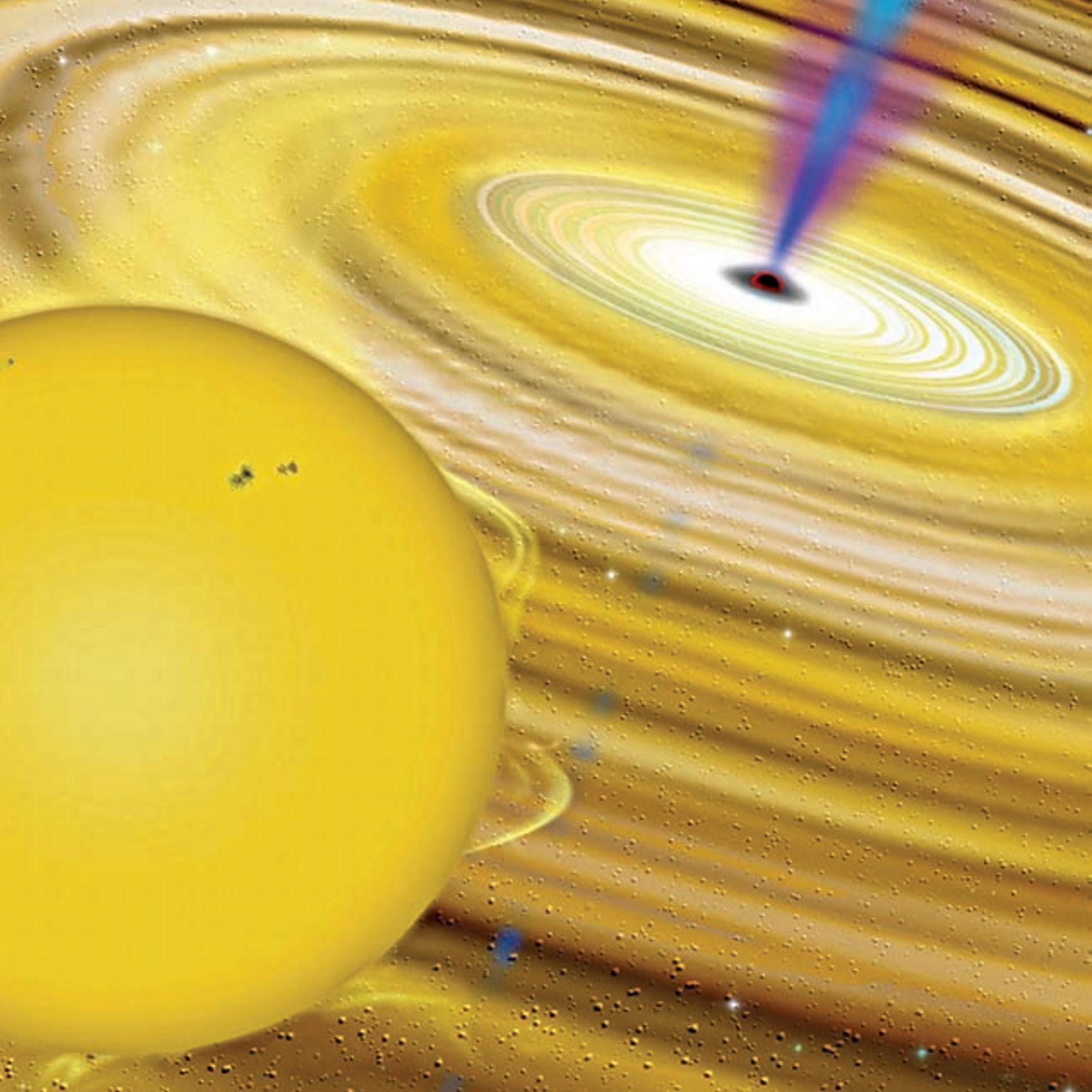
οι νόμοι της φυσικής δεν έχουν καμία υπόσταση. Και όμως η σύγχρονη επιστημονική έρευνα και η Γενική θεωρία της Σχετικότητας του Αϊνστάιν έχουν αποδείξει ήδη την ύπαρξή τους.

Φυσικά μία μαύρη τρύπα είναι δύσκολο να κατανοηθεί από τον ανθρώπινο νου και ίσως αυτό να οφείλεται μερικώς τουλάχιστον στον όρο «τρύπα», γιατί μ' αυτήν τη λέξη πολλοί από μας φαντάζονται ένα κάποιο βαθούλωμα πάνω σε μία επιφάνεια ή ένα χαρακτηριστικό σκίσιμο στην επιφάνεια ενός χαρτιού. Επιπλέον η έννοια της λέξης υπονοεί επίσης και την έννοια της «έλληψης ύλης». Μία μαύρη τρύπα όμως, είναι τελείως διαφορετική. Δεν είναι μία τρύπα σε «κάτι», γιατί είναι από μόνη της «κάτι». Είναι μία τρισδιάστατη, σφαιρική «τρύπα». Είναι μία σφαίρα ύλης και όχι ένα κενό ύλης. Αφού λοιπόν είναι σφαιρική από παντού φαίνεται ίδια, ενώ αν κοιτάζαμε μέσα της, δεν θα βλέπαμε την άλλη μεριά, αλλά θα αντικρίζαμε ένα άπειρο σκοτάδι που θα ήταν το ίδιο απ' οπουδήποτε και αν κοιτάζαμε. Για να γίνει λοιπόν κατανοητό το τι συμβαίνει γύρω από μια μαύρη τρύπα, ας πάρουμε τα πράγματα με τη σειρά.

Το 1968 σ' ένα συνέδριο στη Γαλλία ο Αμερικανός αστροφυσικός Τζον Α. Γουίλερ ονόμασε, για πρώτη φορά τα αντικείμενα αυτά «μαύρες τρύπες». Παρ' όλα αυτά η πρόβλεψη για την πιθανή τους ύπαρξη έγινε για πρώτη φορά το 1783 από τον Άγγλο γεωλόγο και μαθηματικό Τζον Μίτσελ και το 1789 από το Γάλλο μαθηματικό Πιερ Σιμόν Λαπλάς (1749-1827). Η πληρέστερη όμως θεωρητική τους υπόσταση και περιγραφή έπρεπε να περιμένει αναγκαστικά τη δη-









μοσίευση της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας του Αϊνστάιν το 1916. Οι εξισώσεις της θεωρίας αυτής είναι τόσο πολυπλοκές, ώστε ακόμη και ο Αϊνστάιν δεν ασχολήθηκε πολύ με την επίλυσή τους, αφού οι εξισώσεις αυτές επιδέχονται περισσότερες από μία λύσεις, ανάλογα με τις επιμέρους ιδιότητες που έχει μια μαύρη τρύπα.

Μ' αυτήν λοιπόν την έννοια μια μαύρη τρύπα είναι ένα σώμα απλό στην περιγραφή του, μιας και το μόνο που χρειάζεται να γνωρίζουμε γι' αυτήν είναι η μάζα που περιέχει, ο ρυθμός της περιστροφής της και το ηλεκτρικό της φορτίο. Η **πρώτη ειδική λύση** των εξισώσεων της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας του Αϊνστάιν διατυπώθηκε το 1917 από το Γερμανό αστρονόμο Καρλ Σβάρτσιλντ, μερικούς μήνες πριν πεθάνει σε νεαρότατη ηλικία, και περιγράφει την απλούστερη μορφή μιας μαύρης τρύπας που προκύπτει από την κατάρρευση ενός απόλυτα σφαιρικού άστρου με μάζα, αλλά χωρίς ηλεκτρικό φορτίο ή περιστροφή.

Ένα χρόνο αργότερα οι Χ. Ράισενερ και Γκ. Νόρντστρομ διατύπωσαν μια λύση των εξισώσεων, που αφορούσε στην περίπτωση μίας ηλεκτρικά φορτισμένης μαύρης τρύπας. Μια τέτοια μαύρη τρύπα όμως, όπως κι αυτή του Σβάρτσιλντ, δεν είναι δυνατόν, για διάφορους λόγους, να υφίσταται στη φύση. Έτσι τη σκυτάλη πήρε αργότερα ο Αμερικανός φυσικός Ρόμπερτ Οπενχάιμερ (1904-1967), ο οποίος το 1939 απέδειξε ότι η θανατηφόρα έκρηξη ενός γιγάντιου άστρου με πυρήνα άνω των τριών ηλιακών μαζών θα το αναγκάσει να καταπιεί κυριολεκτικά τον εαυτό του, μετατρέποντάς το σε μαύρη τρύπα. Ακόμη όμως και τότε η επιστη-

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

Το 1963 ο Νεοζηλανδός φυσικός Ρόι Κερ διατύπωσε για πρώτη φορά τη λύση των εξισώσεων του Αϊνστάιν για την περίπτωση των περιστρεφόμενων μαύρων τρυπών. Μια περιστρεφόμενη «μαύρη τρύπα» είναι το αποτέλεσμα της κατάρρευσης του πυρήνα ενός περιστρεφόμενου γιγάντιου άστρου, του οποίου ο πυρήνας, ακόμη και μετά την έκρηξή του ως σουπερνόβα, περιέχει υλικά πάνω από τρεις ηλιακές μάζες. Τότε το άστρο αυτό δεν είναι δυνατό να τελειώσει τη ζωή του ως άσπρος νάνος ή άστρο νετρονίων, γιατί η βαρυτική κατάρρευση των υλικών του είναι ολοκληρωτική και κανένας μηχανισμός της φύσης δεν μπορεί να τη συγκρατήσει. Έτσι, καθώς η ακτίνα του καταρρέοντος άστρου μικραίνει, θα φτάσει στο μέγεθος ενός νοητού κελύφους, στην επιφάνεια του οποίου η ταχύτητα διαφυγής είναι ίση με την ταχύτητα του φωτός οπότε και η βαρυτική του δύναμη θα είναι άπειρη. Η ακτίνα αυτή εξαρτάται από την ποσότητα της μάζας που διαθέτει το καταρρέον άστρο και ονομάζεται **ακτίνα Σβάρτσιλντ**.

Για μάζα ίση με αυτήν της Γης η ακτίνα Σβάρτσιλντ είναι μικρότερη από 1 cm, ενώ για μια ηλιακή μάζα φτάνει τα 3 km. Σ' αυτήν την ακτίνα, και γύρω από το άστρο, σχηματίζεται ένα νοητό απαγορευτικό κέλυφος, με την ονομασία **οριζοντας γεγονότων**. Οτιδήποτε περάσει μέσα σ' αυτό το κέλυφος δεν ξαναγυρίζει πίσω. Ο σχηματισμός όμως του οριζοντα γεγονότων δεν σημαίνει ότι το άστρο σταματάει τη βαρυτική του κατάρρευση. Αντίθετα, η κατάρρευση



συνεχίζεται ακάθεκτη, ενώ η ακτίνα του μικραίνει συνεχώς, έως ότου το άστρο περιοριστεί σ' ένα «ιδιομορφό χωροχρονικό σημείο» που ονομάζεται **μοναδικότητα** (singularity), συντρίβοντας έτσι μέχρις «αφανισμού» την ύλη του. Σύμφωνα δηλαδή με τις εξισώσεις της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας στο «ιδιομορφό» αυτό σημείο (που εν τούτοις δεν έχει μηδενικό μέγεθος) η πυκνότητα είναι άπειρη, ο χώρος έχει άπειρη καμπυλότητα και ο χρόνος σταματά να υφίσταται.

Συνοπτικά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι μια μαύρη τρύπα είναι ένα ανεξήγητο και αδιανόητο σημείο στο Σύμπαν, μια ιδιομορφία, που περιβάλλεται από τον ορίζοντα γεγονότων του και έχει ακτίνα, η οποία εξαρτάται από τη μάζα του άστρου. Αυτή είναι η περιγραφή μιας απλής μαύρης τρύπας του Σβάρτσηϊντ. Αντίθετα, η περιστρεφόμενη μαύρη τρύπα του Κερ περιλαμβάνει και ένα δεύτερο νοητό σφαιρικό κέλυφος, που ονομάζεται **στατικό όριο**, το οποίο στους πόλους περιστροφής της μαύρης τρύπας ταυτίζεται με τον ορίζοντα γεγονότων, ενώ έχει μέγιστη απόσταση στον ισημερινό και έξω από τον ορίζοντα γεγονότων. Η περιοχή ανάμεσα στον ορίζοντα γεγονότων και το στατικό όριο ονομάζεται **εργόσφαιρα**.

Ένα αντικείμενο όταν βρίσκεται στην εργόσφαιρα δεν μπορεί να μείνει στάσιμο και έχει τη δυνατότητα, θεωρητικά τουλάχιστον, να δραπετεύσει από την ελκτική δύναμη της μαύρης τρύπας, αν φυσικά μπορεί να κινηθεί με αρκετά μεγάλη ταχύτητα. Κάτι που θα πρέπει να σημειώσουμε, επίσης, είναι και το γεγονός ότι στην περιστρεφόμενη μαύρη τρύπα του Κερ η μο-

ναδικότητα δεν είναι πλέον ένα απλό σημείο, αλλά ένας δακτύλιος.

Με όλα αυτά, λοιπόν, συμπεραίνουμε πως δεν είναι καθόλου παράξενο, που μια μαύρη τρύπα αντιμετωπίζεται σήμερα ως ένα πραγματικά αδιανόητο ουράνιο αντικείμενο, όπου οι νόμοι της φυσικής έχουν «σηκώσει τα χέρια ψηλά», αδυνατώντας είτε να το περιγράψουν αναλυτικότερα, είτε να προβλέψουν το τι συμβαίνει στο εσωτερικό του. Δεν υπάρχει δηλαδή τρόπος ούτε να καταλάβουμε ούτε να εξηγήσουμε τη φυσική κατάσταση της ύλης κάτω από τις συνθήκες που επικρατούν σε μία μαύρη τρύπα, γιατί οι συνθήκες αυτές χαρακτηρίζουν ένα σημείο μοναδικότητας για τη φυσική επιστήμη. Ένα σημείο δηλαδή, όπου η σύγχρονη επιστήμη της φυσικής παύει να ισχύει.

Δεκάδες εκατομμύρια τέτοια λείψανα πρέπει να υπάρχουν αυτήν τη στιγμή στο Γαλαξία μας και μόνο. Γιατί είναι πλέον γεγονός ότι το αποτέλεσμα της ολοκληρωτικής κατάρρευσης ενός γιγάντιου άστρου είναι πάντοτε μια τέλεια σφαιρική μαύρη τρύπα, οποιαδήποτε και αν ήσαν τα χαρακτηριστικά του άστρου, που τη δημιούργησε. Σύμφωνα δηλαδή με την παραστατική ονομασία που τους έδωσε το 1971 ο Τζον Γουίλνερ «**οι μαύρες τρύπες δεν έχουν τρίκες**», δεν διαθέτουν δηλαδή κανένα άλλο χαρακτηριστικό εκτός από την ποσότητα της μάζας τους, το ηλεκτρικό τους φορτίο και την περιστροφή τους. Όλα τα άλλα χαρακτηριστικά του άστρου από το οποίο δημιουργήθηκαν ακτινοβολούνται με τη μορφή βαρυτικών κυμάτων και αποχωρίζονται απ' αυτές αμέσως μετά το σχηματισμό τους.

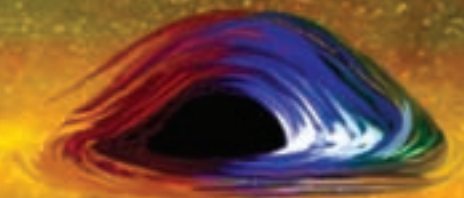


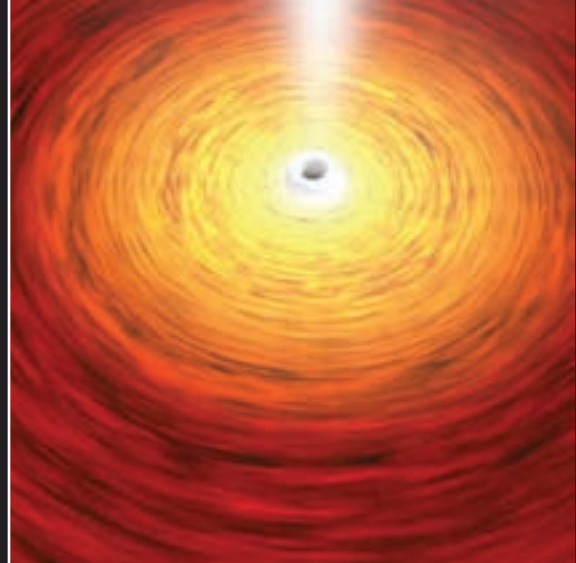
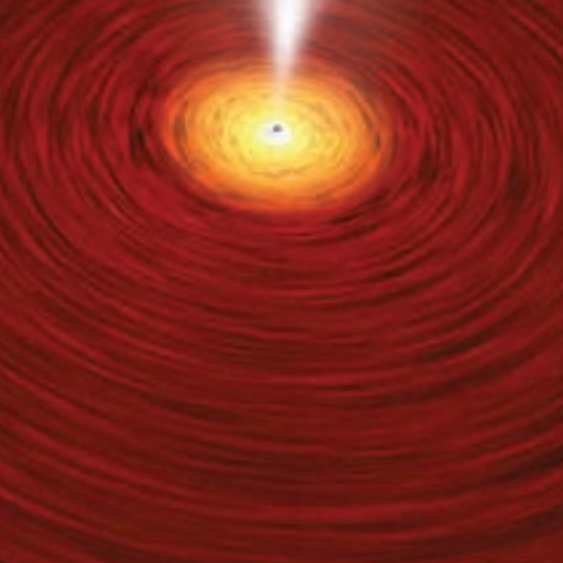
Ένα ταξίδι όμως στη χώρα των θαυμάτων μιας μαύρης τρύπας, είναι άραγε πραγματικά ένα ταξίδι χωρίς επιστροφή; Και επιπλέον, αφού δεν μπορούμε να τη «δούμε» πώς είναι δυνατόν να την ανακαλύψουμε; Πώς μπορούμε δηλαδή να δούμε «κάτι» που δεν εκπέμπει φως; Την απάντηση μάς δίνει η θεωρητική ανάλυση της συμπεριφοράς της ύλης στα πρόθυρα μιας μαύρης τρύπας. Γιατί καθώς η ύλη, που απορροφάται απ' αυτήν, εξαφανίζεται για πάντα μέσα της, εκπέμπει το «κύκνιο άσμα» της με τη μορφή ακτίνων Χ. Το τι συμβαίνει δηλαδή όταν μία ποσότητα ύλης, οποιασδήποτε μορφής, πλησιάζει μια μαύρη τρύπα δεν είναι αυτό που συμβαίνει όταν κάτι τι «πέφτει» σε μια τρύπα μιας επίπεδης επιφάνειας. Στην περίπτωση της μαύρης τρύπας η ύλη «απορροφάται» απ' αυτήν και «εξομοιώνεται» μ' αυτήν. Ένας πύραυλος, για παράδειγμα, πριν χαθεί για πάντα, θα διαλυθεί και η ύλη του θα μεταβληθεί εκπέμποντας στα πρόθυρα του ορίζοντα γεγονότων μια ροή ακτίνων Χ, ενώ στο εσωτερικό της μαύρης τρύπας δεν θα είναι πια ένας πύραυλος, αλλά ένα αναπόσπαστο ομοούσιο μέρος της.

Γ' αυτό, και επειδή οι μαύρες τρύπες δεν εκπέμπουν φως, ο μόνος τρόπος για να ανακαλυφτούν είναι ο εντοπισμός στο Γαλαξία μας πηγών που εκπέμπουν ακτίνες Χ. Έτσι παρόλο που μια μαύρη τρύπα είναι αδύνατον να παρατηρηθεί με τα οπτικά μας τηλεσκόπια, τα σύγχρονα όργανα που διαθέτουμε σε τροχιά

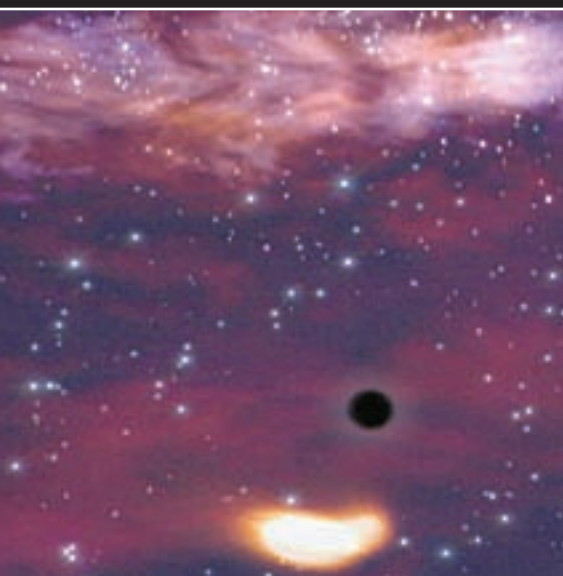
πάνω από την ατμόσφαιρα της Γης έχουν τη δυνατότητα να παρατηρήσουν τέτοια σημεία στο Διάστημα απ' όπου εκπέμπονται τεράστιες ποσότητες ακτινοβολιών υψηλής ενέργειας. Τα σημεία αυτά αποτελούν σήμερα για τους αστροφυσικούς τις κύριες υποψήφιες φωλιές, όπου μπορεί να κρύβονται οι μαύρες τρύπες του Διαστήματος.

Ένας άλλος τρόπος για τον εντοπισμό μιας μαύρης τρύπας είναι η παρατήρηση των διαταραχών στην κίνηση ενός μονού φαινομενικά άστρου. Αν, λοιπόν, κοντά σ' ένα τέτοιο άστρο υπάρχει μια μαύρη τρύπα, αυτό είναι αναγκασμένο να συμπεριφερθεί σαν ένα διπλό αστρικό σύστημα. Γιατί, παρόλο που το μέγεθος μιας μαύρης τρύπας είναι μηδαμινό, το βαρυτικό της πεδίο είναι πολλές φορές πιο ισχυρό από εκείνο του ορατού άστρου. Έτσι το «μονό» αυτό άστρο μετατρέπεται σε «καβαλιέρο» μιας αόρατης «ντάμας», της μαύρης τρύπας, ακολουθώντας τους μουσικούς ρυθμούς της φύσης. Βρισκόμαστε δηλαδή αντιμέτωποι μ' ένα παράξενο αστρικό ζευγάρι, που αναγκάζεται να χορέψει ένα χαρακτηριστικό «pas-de-deux», χορογραφημένο από τις βαρυτικές δυνάμεις που επικρατούν στο όλο σύστημα. Η χρήση αυτής της μεθόδου, σε συνδυασμό με την εκπομπή ακτίνων Χ, ήταν ο τρόπος με τον οποίο επιβεβαιώθηκε πριν από μερικά χρόνια η ύπαρξη μιας μαύρης τρύπας γύρω από το γαλάζιο γίγαντα, που έχει πάρει την ονομασία Κύκνος Χ-1.



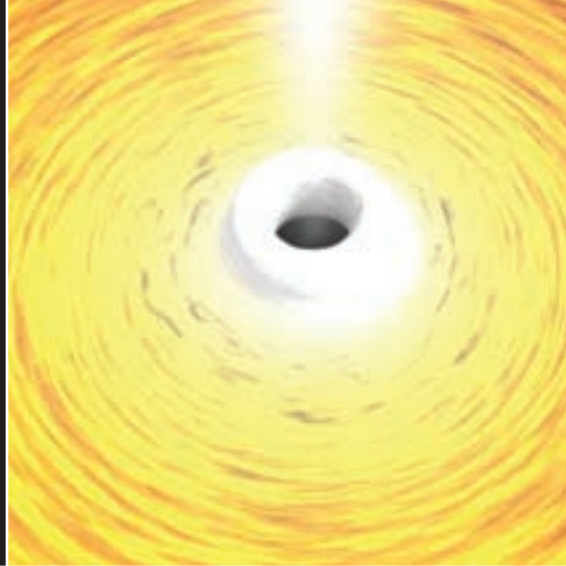


8



δαιμονικά πουλιά  
του Σύμπαντος





«Μαύρη τρύπα» είναι το σημείο εκείνο του Διαστήματος όπου κάποτε υπήρχε ο πυρήνας ενός γιγάντιου άστρου. Αν μπορούσαμε να συμπιέσουμε τη Γη μας ολάκερη στο μέγεθος ενός κερασιού, θα την είχαμε μετατρέψει σε μία μαύρη τρύπα.



Στο ζενίθ σχεδόν του καλοκαιρινού ουρανού, πάνω από τη Μεσοποταμία απλώνονταν εκείνο το βράδυ, πριν από 4.000 χρόνια, τα άστρα του αστερισμού που σήμερα ονομάζουμε Κύκνο. Ξαφνικά, ανάμεσα στ' άστρα του Κύκνου, μια φωτεινή αναλαμπή έσκισε το σκοτάδι της νύχτας με την ένταση της πανσελήνου. Το λαμπερό εκείνο άστρο έγινε από τότε για τους Σουμέριους αντικείμενο θαυμασμού και φόβου. Το όνομά του, «Ουντ-Κα-Ντου-Α», δηλαδή το «Δαιμονικό Πουλί», χαράχτηκε για πάντα στα πήλινα αρχεία της Βαβυλώνας. Έκτοτε, και μέχρι τον Ιούνιο του 1962, τίποτα δεν πρόδιδε την ακριβή θέση του «δαιμονικού πουλιού» των Σουμέριων. Τη χρονιά εκείνη ένας πύραυλος εξοπλισμένος με διερευνητικά όργανα κατέγραψε την πρώτη περιοχή ακτίνων Χ στο σημείο της πανάρχαιας εκείνης ουράνιας έκρηξης και πήρε το όνομα Κύκνος Χ-1.

Η ανάληψη των ακτινοβολιών αυτών μας έχει προσφέρει το πορτρέτο ενός παράξενου ουράνιου ζευγαριού: ενός γιγάντιου γαλαζωπού άστρου με υλικά 33 ηλιακών μαζών, σε ένα θανάσιμο εναγκαλισμό με μια μαύρη τρύπα 16 ηλιακών μαζών, που αποκαλύφτηκε χάρη στα λαιμαργα, κανιβαλιστικά αισθήματα που τρέφει για τον αστρικό της σύντροφο. Γιατί, παρόλο που τα δύο αυτά ουράνια σώματα απέχουν 30 εκατομμύρια χιλιόμετρα μεταξύ τους (το 1/5 δηλ. της απόστασης Γης-Ηλίου), η μαύρη τρύπα ξεσκίζει ανελέητα τις αέριες μάζες του γαλαζιού γίγαντα με ρυθμό ενός εκατομμυρίου τόνων το δευτερόλεπτο. Έτσι, καθώς τα κλημμένα υλικά πέφτουν προς τη διαστημική δίνη της μαύρης τρύπας, υπερθερμαίνονται σε θερμοκρασία εκατομμυρίων βαθμών, με αποτέ-

λεσμα την εκπομπή τεράστιων ποσοτήτων ακτίνων Χ. Αυτός άλλωστε ήταν και ο λόγος για τον οποίο προκλήθηκε το αρχικό ενδιαφέρον των αστροφυσικών.

Τα υλικά του γαλαζιού γίγαντα, όμως, δεν πέφτουν κατευθείαν στη μαύρη τρύπα, αλλιώς, αντίθετα, σχηματίζουν έναν περιστρεφόμενο δίσκο επικάθησης γύρω από τον ισημερινό της, με τη μορφή μιας τεράστιας διαστημικής δίνης. Αυτή καθαυτή η μαύρη τρύπα είναι φυσικά «αόρατη», βρίσκεται όμως στο κέντρο της περιστρεφόμενης ρουφήχτρας των υλικών. Και όταν τελικά τα υλικά αυτά









βρουν το δρόμο τους προς τη μαύρη τρύπα επιταχύνονται σχεδόν με την ταχύτητα του φωτός λίγο πριν εισχωρήσουν στον ορίζοντα γεγονότων της μαύρης τρύπας.

Τα δύο άστρα, ο γαλάζιος γίγαντας και η μαύρη τρύπα, περιφέρονται γύρω από το κοινό κέντρο βάρους τους σε μια περίοδο 5-6 ημερών. Ο συνοδός υπεργίγαντας της μαύρης τρύπας έχει θερμοκρασία 25.000 °C, εξ ου και το γαλαζωπό του χρώμα, και παρόλο που βρίσκεται σε απόσταση 8.000 ετών φωτός από τη Γη, η ένταση των ακτίνων Χ που εκπέμπονται από εκεί είναι 3 έως 6 χιλιάδες φορές μεγαλύτερη από την ενεργειακή εκπομπή του Ηλίου σ' όλη τη μήκη κύματος.

Η μαύρη τρύπα ή καλύτερα ο ορίζοντας γεγονότων της, έχει διάμετρο 100 km περίπου, ενώ γύρω της υπάρχει μια υπερθερμασμένη σφαίρα ηλεκτρονίων και ποζιτρονίων με θερμοκρασία αρκετών δισεκατομμυρίων βαθμών και διάμετρο 800 km περίπου. Σ' αυτό το σύννεφο σωματιδίων ύλης και αντιύλης, τα ηλεκτρόνια και τα ποζιτρόνια αλληλοεξαϋλώνονται παράγοντας ακτινοβολία γάμα, ενώ συγχρόνως οι ακτίνες γάμα δημιουργούν νέα ζευγάρια ηλεκτρονίων και ποζιτρονίων.

Μία μαύρη τρύπα είναι το σημείο εκείνο του Διαστήματος όπου κάποτε υπήρχε ο πυρήνας ενός γιγάντιου άστρου. Ένας πυρήνας που περιείχε περισσότερα υλικά από τρεις ηλιακές μάζες και ο οποίος στην τελική φάση της εξέλιξης του άστρου έχασε την πάλη του ενάντια στη βαρύτητα, με αποτέλεσμα τα υλικά του

να καταρρεύσουν και να συμπιεστούν περισσότερο ακόμη και από τα υλικά ενός άστρου νετρονίων. Αν μπορούσαμε να συμπιέσουμε τη Γη μας ολόκληρη στο μέγεθος ενός κερασιού, θα την είχαμε μετατρέψει σε μία μαύρη τρύπα. Φυσικά δεν υπάρχει καμία γνωστή διαδικασία η οποία θα μπορούσε να μετατρέψει τη Γη, ή και τον Ήλιο ακόμη, σε μαύρη τρύπα. Ο καταρρέων πυρήνας μίας σουπερνόβα, με υλικά πάνω από τρεις ηλιακές μάζες, είναι ένα από τα ελάχιστα αντικείμενα στο Σύμπαν που μπορούν να δημιουργήσουν κάτι τέτοιο. Και αυτού του είδους η «τρύπα», θα πρέπει, εκ των πραγμάτων, να είναι «μαύρη».

Η θεωρία της βαρύτητας του Αϊνστάιν μας «λέει» ότι ο διαστημικός χώρος συμπεριφέρεται με τον ίδιο τρόπο που συμπεριφέρεται ένα φανταστικό ελαστικό «Σύμπαν». Μ' αυτό το σκεπτικό κάθε άστρο ή πλανήτης, κάθε τι το υλικό στο Σύμπαν, δημιουργεί μία παραμόρφωση στο διαστημικό χώρο γύρω από το αντικείμενο αυτό. Η παραμόρφωση μάλιστα αυτή είναι τόσο μεγάλη όσο μεγαλύτερη είναι και η ποσότητα των υλικών που περιέχονται στο αντικείμενο που τη δημιουργεί. Η θεωρία όμως του Αϊνστάιν υπονοεί επίσης ότι στο Σύμπαν θα μπορούσε να υπάρξει και κάποιο αντικείμενο με υλικά τόσο πολύ συμπιεσμένα, ώστε η δύναμη της βαρύτητάς του να παραμορφώνει το Διάστημα γύρω του σε αφάνταστο βαθμό, μέχρις ότου αυτό τούτο το αντικείμενο, «ανοίγοντας» μία «τρύπα» στη δομή του Σύμπαντος, «καθεί» για πάντα απ' αυτό. As εξηγηθούμε όμως καλύτερα.

Για να διαφύγει κάποιος από τη βαρυτική έλξη της Γης μας χρειάζεται έναν πύραυλο, ο οποίος θα κι-



νείται με ταχύτητα 40.000 km/h [11 km/s]. Μ' αυτήν την ταχύτητα ο πύραυλος κινείται τόσο γρήγορα, ώστε η βαρυτική δύναμη της Γης μας δεν μπορεί να τον τραβήξει πίσω στην επιφάνεια. Όσο μεγαλώνει η βαρύτητα, τόσο πιο μεγάλη είναι αναγκαστικά και η ταχύτητα διαφυγής μας από ένα αντικείμενο. Αν θέλαμε να διαφύγουμε από το Δία, για παράδειγμα, θα έπρεπε να ταξιδεύαμε έξι φορές πιο γρήγορα από την ταχύτητα που χρειαζόμαστε για να διαφύγουμε από τη Γη, που σημαίνει ότι θα έπρεπε να ταξιδεύαμε με ταχύτητα 240.000 km/h, ενώ για να ξεφύγουμε από την επιφάνεια του Ηλίου θα έπρεπε να υπερβαίναμε την ταχύτητα των 2,2 εκατομμυρίων χιλιομέτρων την ώρα.

Στην περίπτωση όμως μιας μαύρης τρύπας η απαιτούμενη ταχύτητα διαφυγής υπερβαίνει την ίδια την ταχύτητα του φωτός. Γι' αυτό ακόμη και μία ακτίδα φωτός δεν μπορεί να ταξιδέψει αρκετά γρήγορα και να ξεφύγει. Γιατί σε μία μαύρη τρύπα η δύναμη της βαρύτητας είναι τόσο μεγάλη, ώστε ακόμη και το φως να μην μπορεί να διαφύγει απ' αυτήν. Γι' αυτό άλλωστε είναι και «μαύρη». Έτσι το παγιδευμένο φως της μαύρης τρύπας δεν είναι δυνατόν να φτάσει μέχρι τα μάτια μας για να το δούμε. Μ' αυτήν, λοιπόν, την έννοια η «τρύπα» αυτή είναι «μαύρη».

Το 1974, ο περιφημος φυσικός Στήβεν Χόκινγκ (ο οποίος κατέχει στο Κέιμπριτζ την ίδια έδρα που είχε κάποτε ο Νεύτων) ανακάλυψε μια παραξενιά στους νόμους της φυσικής και υπολόγισε ότι οι μαύρες τρύπες δεν είναι «τελείως μαύρες», αφού μπορούν και εκπέμπουν κβαντική ακτινοβολία που έκτοτε ονομά-

στηκε ακτινοβολία Χόκινγκ. Η ανακάλυψη δηλαδή του Χόκινγκ μας λέει ότι οι μαύρες τρύπες «εξατμίζονται» και ότι οι νόμοι της μηχανικής των μαύρων τρυπών είναι ίδιοι με τους νόμους της θερμοδυναμικής. Βέβαια, την παρατήρηση αυτή έκανε πρώτος το 1969 ο Δημήτρης Χριστοδούλου, ένας 19χρονος τότε Έλληνας μεταπτυχιακός φοιτητής στο Πρίνσετον και σήμερα καθηγητής Μαθηματικών στο ίδιο Πανεπιστήμιο.

Ο Χόκινγκ μας είπε, επίσης, ότι η εντροπία μιας μαύρης τρύπας είναι ανάλογη με το μέγεθος της επιφάνειάς της και επιπλέον ότι η επιφάνειά της είναι ανάλογη με το τετράγωνο της μάζας της, ενώ η θερμοκρασία της και η επιφανειακή της βαρύτητα είναι ανάλογη με τη μάζα της διαιρούμενη με το μέγεθος της επιφάνειάς της. Όλα αυτά όμως σημαίνουν ότι καθώς μια μαύρη τρύπα μετατρέπει τη μάζα της σε εκπεμπόμενη ενέργεια, η ποσότητα της μάζας της και η επιφάνειά της ελαττώνονται, ενώ η θερμοκρασία και η επιφανειακή της βαρύτητα αυξάνουν με αποτέλεσμα την υπερθέρμανση και συρρίκνωσή της.

Φυσικά όσο πιο μεγάλη είναι μια μαύρη τρύπα τόσο πιο μικρή είναι και η ακτινοβολία της. Στην περίπτωση, μάλιστα, των μαύρων τρυπών που προέρχονται από την κατάρρευση γιγάντιων άστρων η διαδικασία της «εξατμίσεως» είναι μια πάρα πολύ αργή διαδικασία η οποία απαιτεί τρισεκατομμύρια τρισεκατομμυρίων χρόνια (π.χ. για μαύρες τρύπες δύο ηλιακών μαζών χρειάζονται  $10^{67}$  χρόνια, αφού η αρχική τους θερμοκρασία είναι σχεδόν ίση με το απόλυτο μηδέν!). Όταν όμως φτάσει ο καιρός (μετά από τρισεκα-

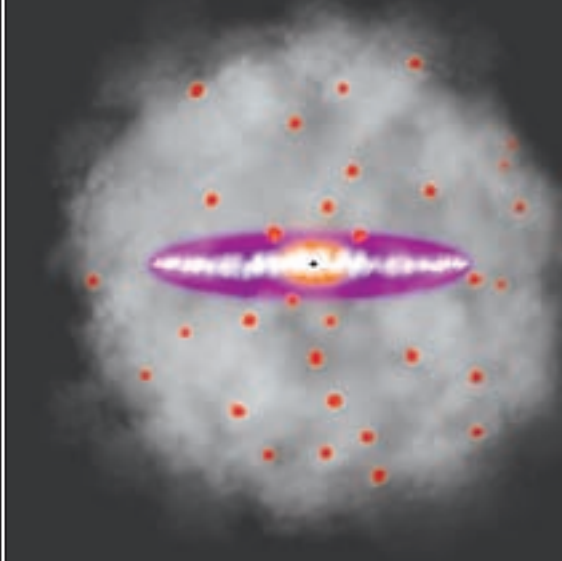
τομμύρια τρισεκατομμυρίων χρόνια) η θερμοκρασία στο εσωτερικό της θα ανέρχεται σε δεκάδες χιλιάδες τρισεκατομμύρια βαθμούς με αποτέλεσμα την έκρηξη της μαύρης τρύπας μέσα σε κλάσματα του δευτερολέπτου. Γεγονός που σημαίνει ότι, στην περίπτωση τουλάχιστον των μικροσκοπικών μαύρων τρυπών, που προέρχονται από τη στιγμή της γένεσης του Σύμπαντος, οι αρχέγονες αυτές μίνι μαύρες τρύπες –με μέγεθος μικρότερο από έναν ατομικό πυρήνα– θα πρέπει να έχουν «εξατμιστεί» εδώ και πολύ καιρό. Φυσικά μερικές απ' αυτές μπορεί να υπάρχουν ακόμα και σήμερα και από καιρό σε καιρό να εκρήγνυνται ίσως περιοδικά εδώ κι εκεί στο Διάστημα.

Τέλος, ένα άλλο χαρακτηριστικό που αποδείχθηκε το 1986, είναι και το γεγονός ότι μια μαύρη τρύπα είναι αδύνατον να περιστραφεί γρηγορότερα από μια υπο-

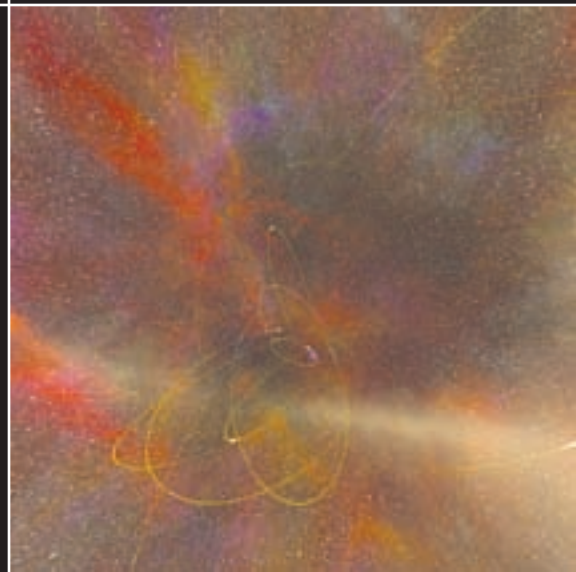
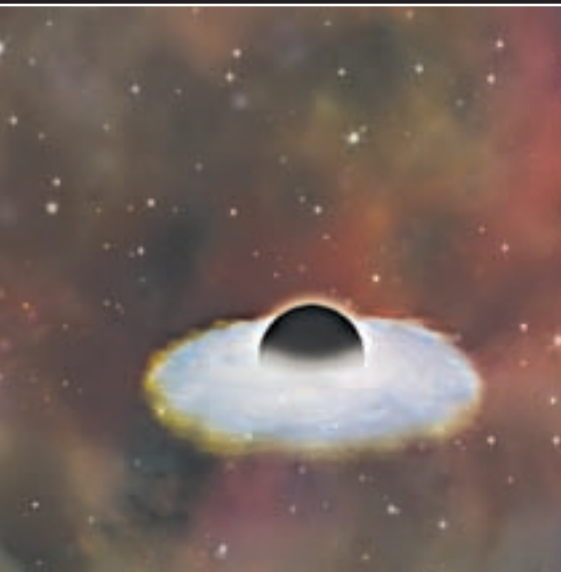
λογίστη μέγιστη τιμή με οποιονδήποτε τρόπο και αν επιχειρηθεί να επιτευχθεί κάτι τέτοιο. Στην περίπτωση μιας μαύρης τρύπας με τη μάζα του Ηλίου μας η μέγιστη τιμή περιστροφής της είναι 1 περιστροφή ανά 62 εκατομμυριοστά του δευτερολέπτου (0,000062/s). Μια τέτοια μαύρη τρύπα θα έχει περίμετρο 18,5 km οπότε η ταχύτητα περιστροφής της θα είναι 18,5 km / 0,000062 s, ταχύτητα δηλαδή ίση σχεδόν με την ταχύτητα του φωτός. Με το ίδιο σκεπτικό μια μαύρη τρύπα με μάζα ενός εκατομμυρίου ήλιων θα έχει περίμετρο ένα εκατομμύριο φορές μεγαλύτερη από τη μαύρη τρύπα μιας ηλιακής μάζας, οπότε και η μέγιστη ταχύτητα περιστροφής της θα είναι ένα εκατομμύριο φορές μικρότερη, δηλαδή μία περιστροφή ανά 62 δευτερόλεπτα!

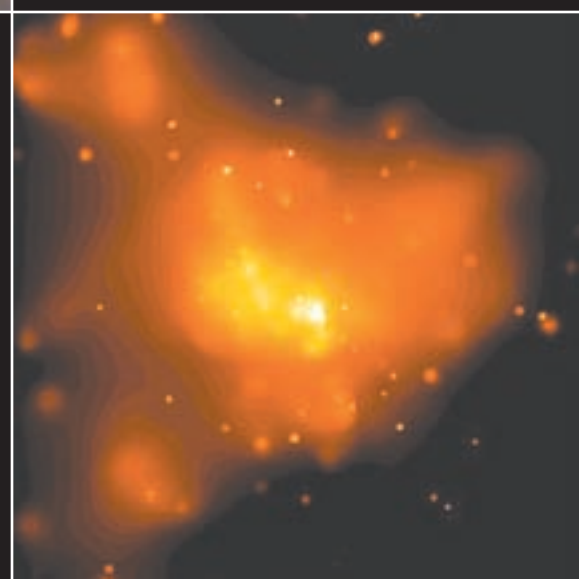
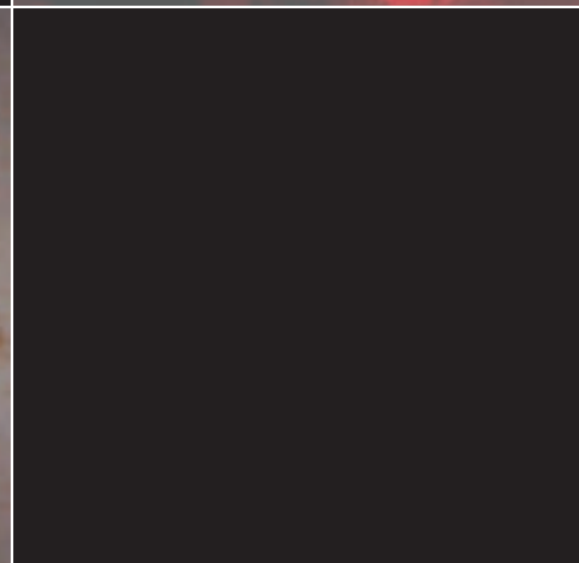
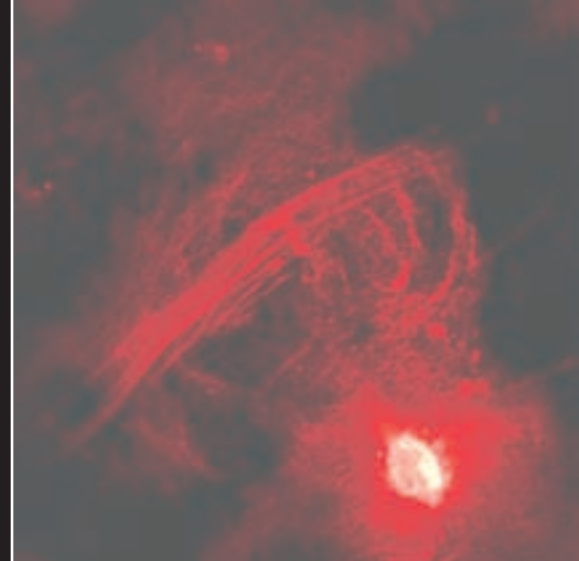


9



το τέρας του γα-  
λαξιακού κέντρου





Τα τελευταία χρόνια έχει αποδειχθεί ότι οι περισσότεροι άλλοι γαλαξίες έχουν κι αυτοί παρόμοιες τεράστιες μαύρες τρύπες στο κέντρο τους, αφού ο Γαλαξίας μας δεν είναι ο μοναδικός στο Σύμπαν.







Τα τελευταία 30 χρόνια τα διάφορα αστροσκοπεία και διαστημικά κέντρα στη Γη, σε συνεργασία με τους αστρονομικούς δορυφόρους που βρίσκονται σε γήινη τροχιά, μας έχουν ανοίξει νέους ορίζοντες στην κατανόηση που έχουμε για το Σύμπαν. Μία «κατανόηση» όμως, που δεν είναι «άμοιρη παραδοξολογιών», γιατί, πραγματικά οι σύγχρονοι αστρονόμοι και αστροφυσικοί, με τη βοήθεια των πιο εξελιγμένων οργάνων παρατήρησης και ανάλυσης που διαθέτουν, μας μιλούν για αστρονομικά αντικείμενα, που είναι σχεδόν ακατανόητα στην κοινή λογική και εμπειρία. Πάρτε για παράδειγμα όλα όσα συμβαίνουν στο κέντρο του Γαλαξία μας.

Κοντά στην καρδιά του Γαλαξία μας ο ουρανός είναι κατάφωτος από την ακτινοβολία αμέτρητων εκατομμυρίων άστρων, συμπυκνωμένων μεταξύ τους πολύ περισσότερο απ' ό,τι στους σπειροειδείς βραχίονές του. Τα άστρα που συναντούμε εκεί είναι κυρίως ψυχρά άστρα (πορτοκαλί και κόκκινα), πρόχωρημένης ηλικίας, γι' αυτό και θα μπορούσαμε να ονομάσουμε τον πυρήνα του Γαλαξία μας **αστρικό γηροκομείο**.

Ανάμεσα στη Γη και την κεντρική αυτή περιοχή του Γαλαξία μας υπάρχουν τεράστιες ποσότητες νεφελωμάτων αερίων και σκόνης που μας εμποδίζουν να διακρίνουμε τα δρώμενα στο κέντρο. Παρόλα αυτά ορισμένα είδη ακτινοβολιών έχουν τη δυνατότητα να διαπεράσουν τα πυκνά αυτά στρώματα και να φτάσουν στον πλανήτη μας, όπου καταγράφονται από τα επίγεια ραδιοτηλεσκοπικά κέντρα και τα δορυφορικά αστροσκοπεία μας. Πρόσφατες μάλιστα παρατηρήσεις του τροχιακού αστροσκοπείου ακτίνων Χ

Τσάντρα μας επιβεβαίωσαν κάτι που εδώ και μερικά χρόνια είχαμε ήδη αρχίσει να πιστεύουμε, ότι δηλαδή το κύριο χαρακτηριστικό στο κέντρο του Γαλαξία μας είναι η ύπαρξη μίας γιγάντιας μαύρης τρύπας, που περιβάλλεται από ένα φωτεινό δίσκο αστροϋλικών.

Η περιοχή αυτή είναι ιδιαίτερα πλούσια σε αστρικές ομάδες και νεφελώματα και από τη Γη φαίνεται προς την κατεύθυνση του αστερισμού του Τοξότη. Σ' αυτόν τον αστερισμό και σε απόσταση 27.000 ετών φωτός από μας το κέντρο του Γαλαξία μας βρίσκεται δίπλα σχεδόν σε μία ιδιαίτερα ενεργή πηγή ακτινοβολιών, την οποία ονομάζουμε Τοξότη A\* και έχει αποδειχθεί ότι είναι εξαιρετικά συμπαγής. Οι νέες μάλιστα παρατηρήσεις ταυτίζουν αυτήν την περιοχή με την κεντρική μαύρη τρύπα του γαλαξιακού μας κέντρου. Και βέβαια εκτός από άστρα το αδηφάγο αυτό τέρας εξαφανίζει και οτιδήποτε άλλο τοημήσει να το πλησιάσει με αποτέλεσμα τη συνεχή του διόγκωση. Συγχρόνως σημειώνονται τρομακτικές εκρήξεις και έκλυση τεράστιων ποσοτήτων ακτινοβολιών και ενέργειας. Μία τέτοια «έκρηξη» ακτινοβολιών ακτίνων Χ παρατηρήθηκε από το Διαστημικό Τηλεσκόπιο Τσάντρα να ξεπηδά από την περιοχή της μαύρης τρύπας αποδεικνύοντας πλέον πανηγυρικά όσα μέχρι τώρα απλώς υποθέταμε.

Αυτού του είδους οι εκρήξεις παράγονται από τον καταποντισμό μεγάλων ποσοτήτων ύλης στη βαρυτική άβυσσο της μαύρης τρύπας. Όταν η καταδικασμένη ύλη πέσει στα πλοκάμια της μαύρης τρύπας υπερθερμαίνεται και εκπέμπει ακτίνες Χ σαν ένα «κυνείο άσμα» πριν την οριστική εξαφάνισή της. Είναι



το πλησιέστερο που έχουν φθάσει οι αστρονόμοι στο «χείλος του γκρεμού», του επονομαζόμενου ορίζοντα γεγονότων που περιβάλλει μια μαύρη τρύπα. Η μαύρη τρύπα στο κέντρο του Γαλαξία μας υπολογίζεται ότι αποτελείται από υλικά 2,6 εκατομμύρια φορές περισσότερα από τα υλικά που έχει ο Ήλιος, συγκεντρωμένα σε μία περιοχή με διάμετρο λίγο μεγαλύτερη από την απόσταση Γης-Ηλίου που είναι 150 εκατομμύρια χιλιόμετρα.

Οι «κανονικές» μαύρες τρύπες που προέρχονται από τις εκρήξεις αστρικών σουπερνόβα έχουν διάμετρο γύρω στα 50 km μόνο. Χιλιάδες τέτοιες μαύρες τρύπες πρέπει να υπάρχουν ήδη στο Γαλαξία μας. Υπάρχουν όμως και μίνι μαύρες τρύπες, με τη μάζα ενός ολάκερου βουνού συμπιεσμένη στο χώρο που καταλαμβάνει ένα άτομο. Το Σύμπαν μπορεί να περιλαμβάνει έναν τεράστιο αριθμό τέτοιων μίνι τεράτων, που δημιουργήθηκαν τη στιγμή της **Μεγάλης Έκρηξης**. Κανείς όμως μέχρι τώρα δεν έχει ανακαλύψει έστω και κάποιες καθαρές ενδείξεις για την πραγματική τους υπόσταση αν και όπως είπαμε μερικοί ερευνητές υποστηρίζουν ότι οι μικροσκοπικές αυτές μαύρες τρύπες πρέπει να έχουν ήδη «εξατμιστεί» εδώ και δισεκατομμύρια χρόνια.

Στο άλλο άκρο των μεγεθών υπάρχουν οι «σούπερ» μαύρες τρύπες στο κέντρο των γαλαξιών που περιέχουν τη μάζα εκατομμυρίων ήλιων σ' ένα χώρο, που δεν υπερβαίνει τη διάμετρο του Ηλιακού μας Συστήματος. Τα τελευταία μάλιστα χρόνια έχει αποδειχθεί ότι οι περισσότεροι άλλοι γαλαξίες έχουν κι αυτοί παρόμοιες τεράστιες μαύρες τρύπες στο κέντρο τους

αφού ο Γαλαξίας μας δεν είναι ο μοναδικός στο Σύμπαν.

Υπάρχουν, δηλαδή, δεκάδες δισεκατομμύρια γαλαξίες, και σε μερικούς απ' αυτούς έχουμε ήδη εντοπίσει αναταραχές γιγαντιαίων διαστάσεων. Στην προσπάθειά μας λοιπόν να αποκαλύψουμε τα μυστικά του δικού μας Γαλαξιακού κέντρου, έχουμε ήδη στρέψει την προσοχή μας και μελετάμε πιο επισταμένα τα κέντρα και των άλλων γαλαξιών του Σύμπαντος, αφού είναι αρκετά εύλογο να υποθέσουμε ότι και οι περισσότεροι άλλοι γαλαξίες θα έχουν κι αυτοί παρόμοιες τεράστιες μαύρες τρύπες στο κέντρο τους.

Ο πυρήνας του γαλαξία NGC 4261, σε απόσταση 45 εκατομμυρίων ετών φωτός από τη Γη, όπως καταγράφηκε από το Διαστημικό Τηλεσκόπιο Χαμπλ παρουσιάζει μια περιοχή με υπέρθερμα αέρια και έναν εσωτερικό δίσκο ψυχρών αερίων και σκόνης με διάμετρο 300 ετών φωτός. Ακριβώς στο κέντρο του βρίσκεται μια λαμπρή περιοχή που αποτελεί το θερμό δίσκο επικάλυψης μιας μαύρης τρύπας, η οποία εκπέμπει έναν πίδακα υλικών σε σχήμα Υ. Οι μέχρι σήμερα παρατηρήσεις, μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι τέτοιου είδους φαινόμενα πρέπει να είναι το αποτέλεσμα μίας αλυσιδωτής καταστροφής εκατομμυρίων άστρων στον πυρήνα παρόμοιων γαλαξιών, που οφείλεται στην ύπαρξη μιας τεράστιας κεντρικής μαύρης τρύπας, η οποία καταβροχθίζει το κέντρο παρόμοιων γαλαξιών.

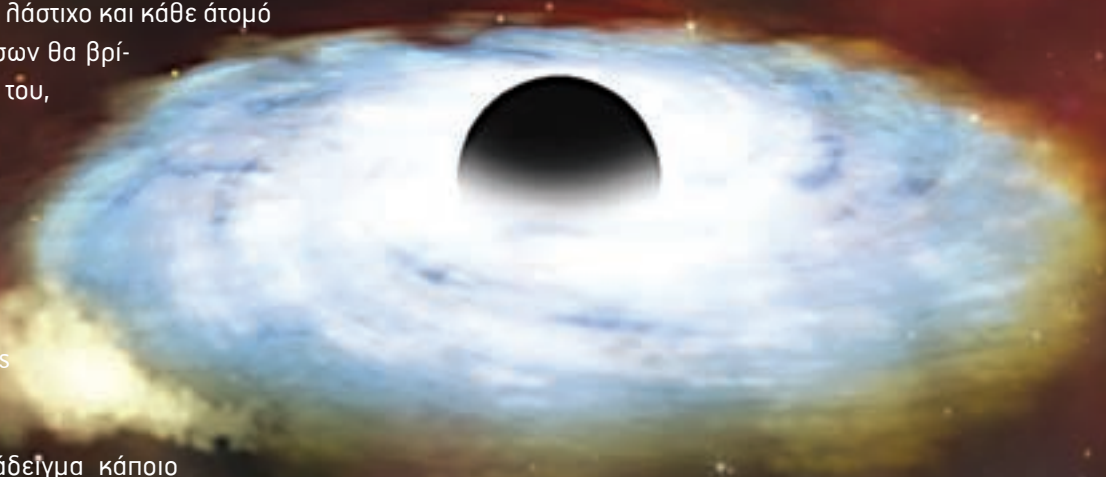
Οι μαύρες τρύπες είναι αναμφίβολα από τα πιο παράξενα αντικείμενα του Σύμπαντος. Πάρτε για παρά-

δειγμα αυτά που θα συνέβαιναν αν ταξιδεύαμε κοντά σε μία τέτοια μαύρη τρύπα, αφού η Γενική θεωρία της Σχετικότητας του Αϊνστάιν μας περιγράφει μία πραγματικά ενδιαφέρουσα εμπειρία. Αν πλησιάζαμε λοιπόν μία μαύρη τρύπα μ' ένα διαστημόπλοιο, η ισχυρότατη δύναμη της βαρύτητάς της θα το υποχρέωνε να τεντωθεί σαν λιάστικο και κάθε άτομό του, καθώς και όλων όσων θα βρίσκονταν στο εσωτερικό του, θα παραμορφώνονταν τρομαχτικά. Γι' αυτό θα ήταν προτιμότερο να σταθούμε σε μία ασφαλή απόσταση και από κει να στείλουμε τους αυτόματους διερευνητές μας.

Αν στείλουμε για παράδειγμα κάποιο φανάρι, θα παρατηρήσουμε ότι το φως του ελαττώνεται όλο και πιο πολύ καθώς αυτό πλησιάζει τον ορίζοντα γεγονότων της μαύρης τρύπας. Τα φωτεινά του δηλαδή κύματα χάνουν τόση πολλή ενέργεια στην προσπάθειά τους να σκαρφαλώσουν μακριά από τη βαρύτητα της τρύπας, ώστε έχουμε ως αποτέλεσμα το αδυνάτισμα της φωτεινής τους έντασης. Το φως από ένα φανάρι που έφτασε ακριβώς στην επιφάνεια του ορίζοντα, δεν μπορεί να φτάσει ποτέ μέχρι τα μάτια μας.

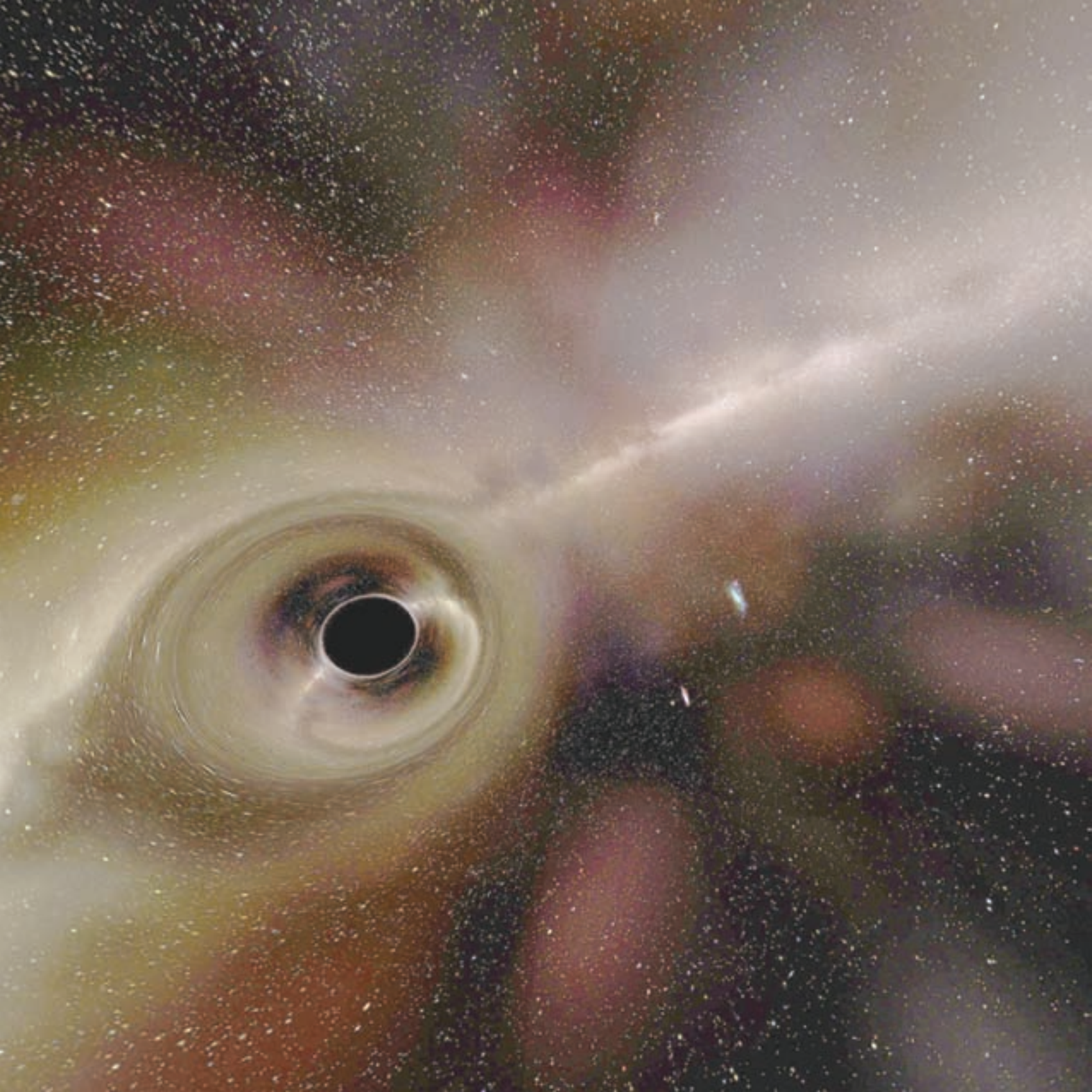
Αν πάλι στείλουμε ένα ρολόι, τότε θα παρατηρήσουμε ότι καθώς αυτό πλησιάζει τη μαύρη τρύπα ο χρόνος τρέχει όλο και πιο αργά. Συμβαίνει δηλαδή και

στο χρόνο το ίδιο που συμβαίνει και στο χώρο, γιατί η παρουσία της μαύρης τρύπας δημιουργεί όχι μόνο χωροπαραμόρφωση αλλιά και χρονοπαραμόρφωση. Κι όταν τελικά το ρολόι φτάσει στη «μοναδικότητα», ο χρόνος θα σταματήσει τελείως.



Φυσικά, τα πάντα είναι σχετικά. Αν δηλαδή με κάποιον τρόπο αφήναμε το διαστημόπλοιο μας και πλησιάζαμε τη μαύρη τρύπα, δεν θα αισθανόμασταν καμία αλλαγή στο χρόνο. Γιατί το ρολόι που θα είχαμε μαζί μας θα έδειχνε ότι για μας ο χρόνος τρέχει κανονικά. Αντίθετα αν μπορούσαμε να διακρίνουμε τους δείχτες του ρολογιού που αφήσαμε στο διαστημόπλοιο μας, θα τους βλέπαμε να τρέχουν με τεράστιες ταχύτητες. Από τα πρόθυρα της μαύρης τρύπας ο χρόνος στο διαστημόπλοιο, καθώς και σε οποιοδήποτε άλλο σημείο του Σύμπαντος, θα έτρεχε με μεγαλύτερη ταχύτητα από αυτόν που θα έδειχνε το ρολόι μας.







Αυτή η «παραμόρφωση» του χρόνου μάς «λίξει» ότι, αν με κάποιο τρόπο μπορούσαμε να ξεφύγουμε από την ελκτική δύναμη της μαύρης τρύπας και επιστρέψαμε πάλι στο διαστημόπλοιό μας, θα βρισκόμασταν στο μέλλον. Μ' αυτήν την έννοια, δηλαδή, ο μαύρες τρύπες μπορεί να θεωρηθούν και ως ένα είδος **μηχανών του χρόνου!** Μηχανές του χρόνου όμως που μπορούν να μας μεταφέρουν μόνο προς το μέλλον.

Ίσως πάλι οι μαύρες τρύπες να μην λειτουργούν απλά και μόνο σαν χρονομηχανές, ούτε όμως και ως τρύπες, αλλά ως ένα είδος χωροχρονικής σήραγγας, που θα μας μετέφερε σε κάποιο άλλο σημείο του δικού μας ή κάποιου άλλου Σύμπαντος. Μερικοί αστροφυσικοί υποστηρίζουν ότι οι εξισώσεις του Αϊνστάιν δεν αποκλείουν κάτι τέτοιο.

Αντιμετωπίζουμε έτσι ένα από τα βασικά ερωτήματα που αφορούν στην τύχη των υλικών που εισχωρούν στη μαύρη τρύπα: δηλαδή πού πηγαίνουν τα υλικά αυτά; Αφού η βαρυτική δύναμη της μαύρης τρύπας εμποδίζει οποιαδήποτε πληροφορία να διαφύγει απ' αυτήν, δεν υπάρχει τρόπος να γνωρίζουμε την τύχη τους. Το γεγονός, όμως, αυτό δεν εμποδίζει τους θεωρητικούς φυσικούς από το να κάνουν τις δικές τους μαθηματικές υποθέσεις.

Τρεις είναι οι υποθέσεις που διερευνούνται, με πρώτη και καλύτερη τον απλό «αφανισμό» των υλικών στην καρδιά της μαύρης τρύπας που ονομάζεται μοναδικότητα. Η δεύτερη υπόθεση προτείνει ότι οι μαύρες τρύπες θα μπορούσαν επίσης να σχηματίζουν παράξενες κοσμικές σήραγγες (μερικοί τις

ονομάζουν **σκουληκότρυπες**), που ίσως οδηγούν σε κάποιο άλλο παράλληλο Σύμπαν, με το οποίο όμως δεν υπάρχει καμία άλλη επικοινωνία ούτε και τρόπος επιστροφής.

Η τρίτη υπόθεση, και ίσως η πιο ενδιαφέρουσα απ' όλες, προτείνει τη συνένωση μίας μαύρης τρύπας με άλλα σημεία του δικού μας Σύμπαντος. Σημεία δηλαδή που απέχουν μεταξύ τους όχι μόνο στο χώρο αλλά και στο χρόνο. Πολλοί μάλιστα παρομοιάζουν τις ουράνιες αυτές σκουληκότρυπες με την προσφιλή «εφεύρεση» των συγγραφέων επιστημονικής φαντασίας οι οποίοι έχουν βαφτίσει «υπερδιάστημα», μία έννοια η οποία, παρόλο που δεν υπάρχει στη φύση, επιτρέπει στους ήρωες των διαστημικών μυθιστορημάτων να μετακινούνται από άστρο σε άστρο σχεδόν στιγμιαία.

Φυσικά, αφού ο χρόνος και ο χώρος είναι έννοιες που δεν έχουν καμία υπόσταση στο εσωτερικό μίας μαύρης τρύπας, υπάρχει η πιθανότητα κάποτε στο μέλλον και με την κατάλληλη τεχνολογία, να αποτελέσουν οι μαύρες τρύπες το κλειδί των μελλοντικών μας μετακινήσεων στην προσπάθειά μας να εξερευνήσουμε ολόκληρο το Σύμπαν. Αρκεί, βέβαια, η μαύρη τρύπα που θα διαλέξουμε για ένα τέτοιο ταξίδι, να είναι αρκετά μεγάλη. Παρόλα αυτά θα πρέπει εδώ να επισημάνουμε ότι όλα αυτά δεν είναι παρά θεωρητικές εκτιμήσεις, οι οποίες απλώς βασίζονται σε χονδροειδείς λύσεις των εξισώσεων του Αϊνστάιν και όχι στη δυνατότητα της επιστήμης να παρατηρήσει όλα όσα συμβαίνουν στο εσωτερικό μίας μαύρης τρύπας που εξ ορισμού δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί.

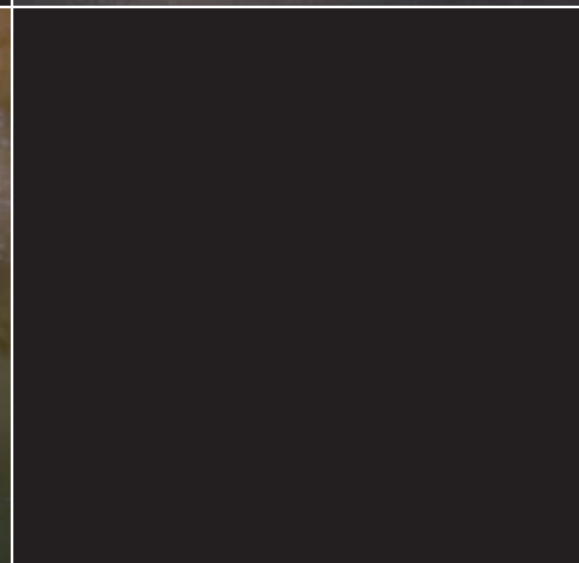
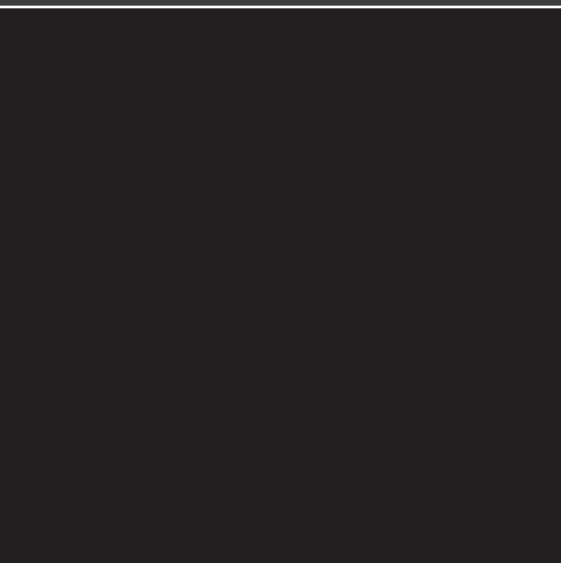
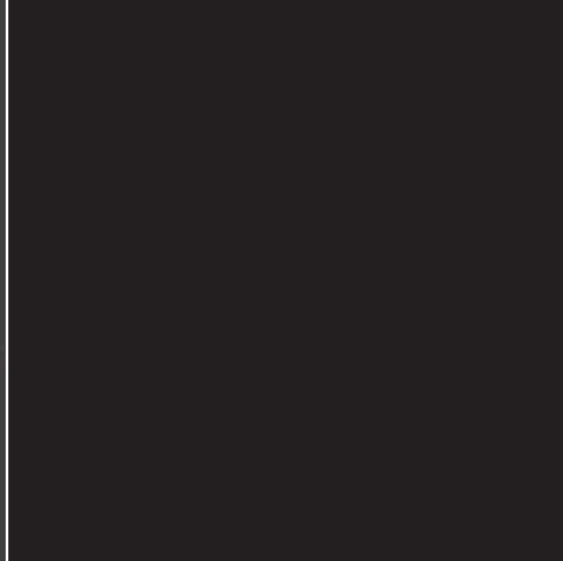
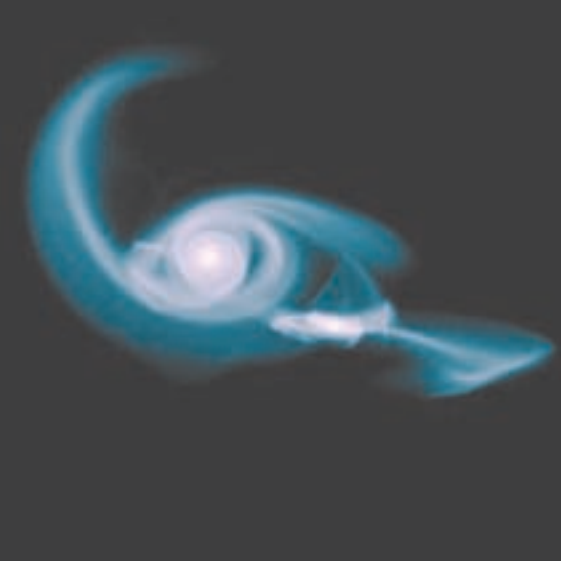




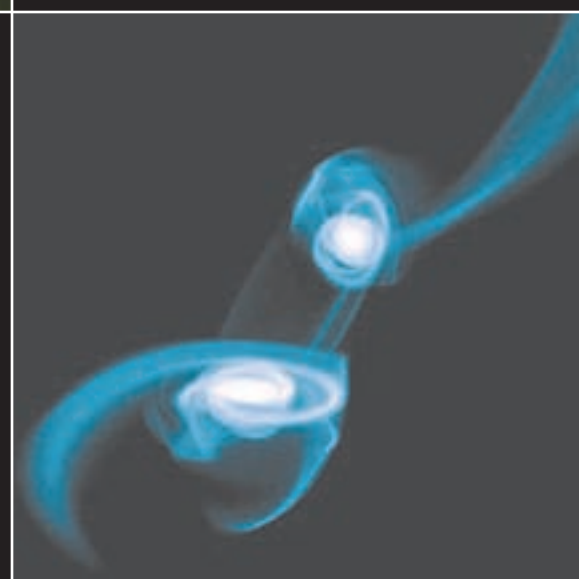
10

ΤΙΤΑΝΙΕΣ  
ΣΥΓΚΡΟΥΣΕΙΣ





Οι γαλαξιακές αυτές συγκρούσεις είναι διαδικασίες που διαρκούν δισεκατομμύρια χρόνια, ενώ το τελικό αποτέλεσμα εξαρτάται από τα μεγέθη των συγκρουόμενων γαλαξιών και τις μεταξύ τους αποστάσεις.





Εδώ και αρκετά χρόνια θεωρούσαμε ότι ο γειτονικός μας, σχετικά, γαλαξίας της Ανδρομέδας ήταν μεγαλύτερος από το δικό μας. Μία νέα έρευνα όμως που διεξήχθη στις αρχές του 2006 και αφορούσε στην πυκνότητα και στην ταχύτητα της επονομαζόμενης **σκοτεινής ύλης** στην περιοχή μας, ανέδειξε ότι νικητής είναι ο δικός μας Γαλαξίας! Αυτή η έρευνα απέδειξε ότι ο Γαλαξίας μας περιλαμβάνει διπλάσια ποσότητα υλικών απ' ό,τι αυτός της Ανδρομέδας, λόγω του ότι περιλαμβάνει μεγαλύτερες ποσότητες σκοτεινής ύλης.

Σε απόσταση 2,25 εκατομμυρίων ετών φωτός, το φως από το γαλαξία της Ανδρομέδας χρειάζεται 2,25 εκατομμύρια χρόνια για να φτάσει σ' εμάς. Με τη βοήθεια ενός μικρού τηλεσκοπίου ή ακόμη και με κιάλια, ο γαλαξίας αυτός μοιάζει με ένα αμυδρά φωτισμένο γκριζόχρωμο ελλειψοειδές αντικείμενο. Η φωτογραφική του όμως απεικόνιση, με τη βοήθεια ενός μεγάλου τηλεσκοπίου, μας παρουσιάζει μυριάδες άστρα: γιγάντια άστρα, εκρηγνυόμενα άστρα, σφαιρωτά και ανοιχτά σμήνη και περιοχές αστρογένεσης παρόμοιες με αυτές του δικού μας Γαλαξία.

Ο δικός μας Γαλαξίας και εκείνος της Ανδρομέδας είναι οι δύο κυριότεροι σπειροειδείς γαλαξίες σε μια ομάδα τριάντα περίπου γαλαξιών, που ονομάζεται **Τοπική Ομάδα**. Κι ενώ τα δισεκατομμύρια των γαλαξιών που υπάρχουν στο Σύμπαν φαίνονται να απομακρύνονται από μας λόγω της κοσμολογικής διαστολής του χωροχρονικού Σύμπαντος, στην περίπτωση της Τοπικής μας Ομάδας τα πράγματα είναι διαφορετικά. Γιατί στην περιοχή μας οι βαρυτικές δυνάμεις των

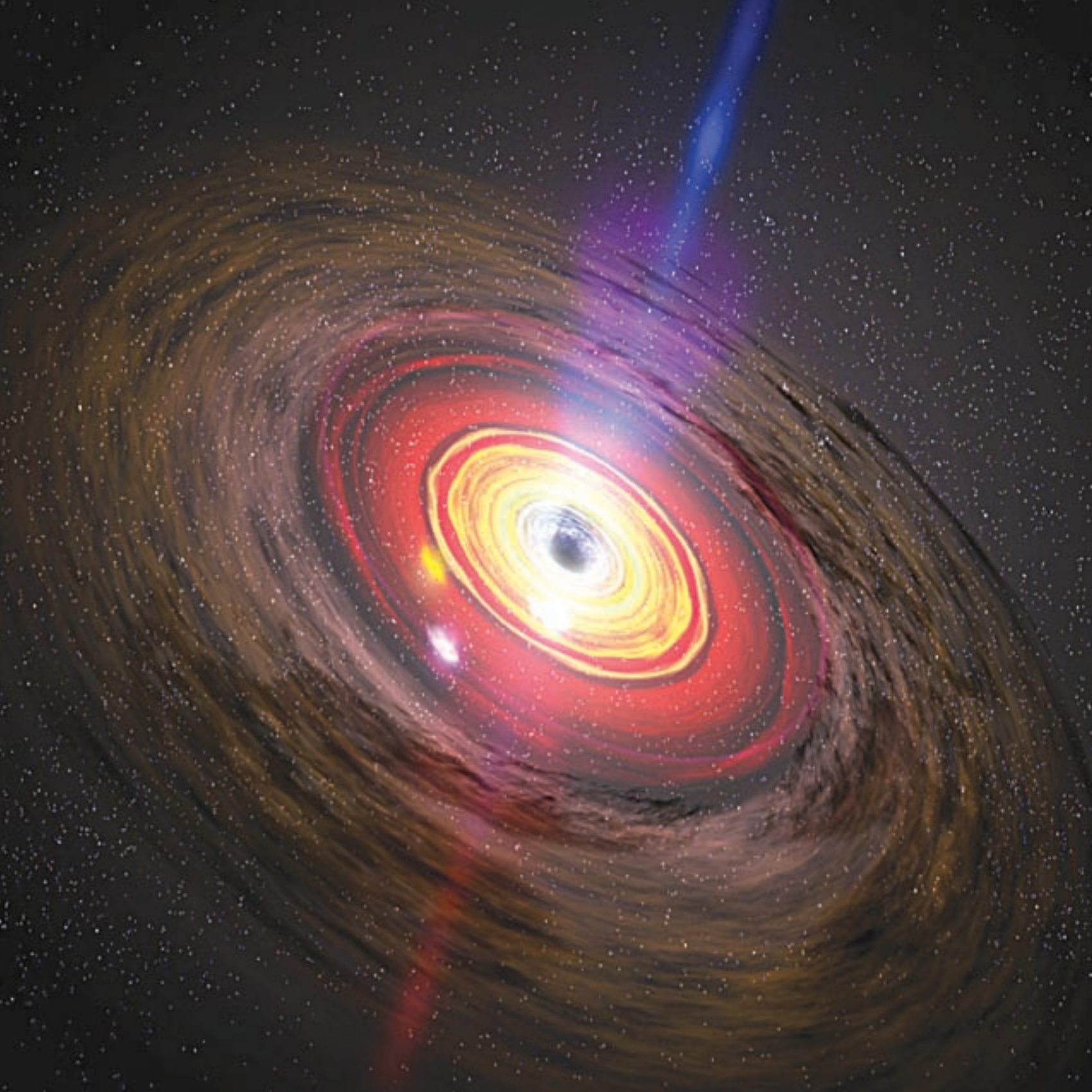
γειτονικών μας γαλαξιών έχουν μεγαλύτερη επίδραση στις διάφορες μετακινήσεις τους. Το ίδιο εξάλλου συμβαίνει παντού στο Σύμπαν, αφού σε τοπικό επίπεδο οι βαρυτικές δυνάμεις ανάμεσα σε γειτονικούς γαλαξίες υπερέρχουν της κοσμολογικής διαστολής.

Έτσι δεν είναι διόλου παράξενο, που όπως φαίνεται από τα τελευταία στοιχεία ορισμένων ερευνών ο γαλαξίας της Ανδρομέδας μας πλησιάζει με ταχύτητα 500.000 km/h. Κάθε ώρα που περνάει δηλαδή βρισκόμαστε 500.000 km πλησιέστερα σ' αυτόν. Αν είχαμε στη διάθεσή μας ένα διαστημόπλοιο, το οποίο θα κινούνταν με ανάλογη ταχύτητα τότε θα μπορούσαμε να φτάσουμε στη Σελήνη σε τρία περίπου τέταρτα της ώρας αντί των τριών ημερών, που χρειάστηκαν οι αστροναύτες του προγράμματος Απόλλων.

Αφού λοιπόν πλησιάζουν ο ένας τον άλλο, αυτό σημαίνει ότι οι δύο γαλαξίες, ο δικός μας κι αυτός της Ανδρομέδας, πρόκειται αναπόφευκτα και αναπόφευκτα να συγκρουστούν σε περίπου τρία δισεκατομμύρια χρόνια. Αν μετά από τρία δισεκατομμύρια χρόνια υπάρχει ακόμη, έστω και με κάποια άλλη μορφή, ο ανθρώπινος πολιτισμός, τότε οι απόγονοί μας θα μπορέσουν να παρακολουθήσουν μία πραγματικά θεαματική σύγκρουση γιγάντων. Μία σύγκρουση όμως, η οποία θα χρειαστεί ένα επιπλέον δισεκατομμύριο χρόνια προκειμένου να ολοκληρωθεί.

Μην ανησυχείτε όμως για τους απογόνους μας. Παρόλες τις τρομερές βαρυτικές δυνάμεις, που θα υφίστανται στη διάρκεια της σύγκρουσης, κανένα από τα δισεκατομμύρια άστρα που αποτελούν τους δύο







γαλαξίες δεν πρόκειται να συγκρουστεί με κάποιο άλλο. Βλέπετε οι αποστάσεις μεταξύ των άστρων είναι τεράστιες και δεν είναι δυνατόν να έχουμε μία οποιαδήποτε σύγκρουση άστρων. Παρόλα αυτά, τα διάφορα αέρια που βρίσκονται στο διαστρικό χώρο ανάμεσα στα άστρα θα υποστούν ένα ιδιαίτερα έντονο σοκ, αφού η σύγκρουσή τους θα θέσει σε ενέργεια μία διαδικασία αστρογένεσης τεράστιων διαστάσεων.

Εκτός όμως από τα εκατομμύρια των γεννήσεων νέων άστρων η σύγκρουση των δύο γαλαξιών θα τροφοδοτήσει και άλλου είδους διαδικασίες επίσπευσης του θανάτου ορισμένων μεγάλων άστρων με τη μορφή σουπερνόβα εκρήξεων. Κι ενώ σήμερα τέτοιου είδους εκρήξεις παρατηρούνται μία φορά κάθε 300 περίπου χρόνια, στη διάρκεια της κάθε σύγκρουσης οι σουπερνόβα εκρήξεις θα φτάσουν τις 1.000 το χρόνο, κάνοντας έτσι τον ουρανό της Γης αρκετά λαμπερό ώστε να μπορεί κάποιος να διαβάσει άνετα ένα βιβλίο!

Η τιάνια αυτή σύγκρουση όμως, στα αρχικά τουλάχιστον στάδια, δεν πρόκειται να είναι μετωπική. Οι δύο γαλαξίες θα προσπεράσουν ο ένας τον άλλο, διαταράσσοντας φυσικά τη δομή τους από τις τεράστιες βαρυτικές δυνάμεις που θα υφίστανται. Πενήντα εκατομμύρια χρόνια μετά την πρώτη επαφή ο γαλαξίας της Ανδρομέδας θα επανακάμψει προς το μέρος μας, με κατεύθυνση το κέντρο του Γαλαξία μας, το οποίο θα φτάσει σε άλλα τόσα χρόνια. Μία δεύτερη περίοδος

αστρογένεσης και κατακλισμαίων αστρικών εκρήξεων θα επακολουθήσει μέχρις ότου οι δύο γαλαξίες ισορροπήσουν και ενσωματωθούν ο ένας στον άλλο σε ένα περίπου δισεκατομμύριο χρόνια. Την εποχή εκείνη ο νέος γαλαξίας που θα έχει δημιουργηθεί θα περιλαμβάνει όλα τα υλικά από τα οποία αποτελούνταν οι δύο προγεννήτορές του, ενώ η μορφή του θα έχει αλλιάξει και από σπειροειδής θα έχει μετατραπεί σ' έναν τεράστιο ελλειπτικό γαλαξία.

Αυτού του είδους η περιγραφή δεν είναι αποκύημα επιστημονικής φαντασίας αλλά αποδεδειγμένη

επιστημονική πραγματικότητα, αφού οι αστρονόμοι έχουν σήμερα συγκεντρώσει αρκετά στοιχεία που καταδεικνύουν ότι οι γαλαξιακές συγκρούσεις είναι πολύ πιο συχνές απ' ό,τι πιστεύαμε μέχρι τώρα. Με μία νέα τεχνική, που επιτρέπει την παρατήρηση των γαλαξιακών πυρήνων μέσα από τα πυκνά σύννεφα αερίων και σκόνης που τους περιβάλλουν, αποδείχτηκε ότι το ένα τρίτο όλων των σπειροειδών γαλαξιών, όπως είναι ο δικός μας, παρουσιάζουν σημάδια προηγούμενων συγκρούσεων. Οι γαλαξιακές αυτές συγκρούσεις είναι διαδικασίες που διαρκούν δισεκατομμύρια χρόνια, ενώ το τελικό αποτέλεσμα εξαρ-

τάται από τα μεγέθη των συγκρουόμενων γαλαξιών και τις μεταξύ τους αποστάσεις.

Οι μικρότεροι γαλαξίες καταβροχθίζονται συνήθως από τους μεγαλύτερους, αλλά όταν τα μεγέθη είναι περίπου ίσα η σύγκρουση καταλήγει σε αδιέξοδο. Στις περιπτώσεις ισορροπίας δυνάμεων οι δύο γαλαξίες ενώνονται σχηματίζοντας έναν ελλειπτικό γαλαξία, ειδικά όμως επικρατεί συνήθως το σχήμα και η δομή του μεγαλύτερου. Παρόμοιες διαδικασίες γαλαξιακών συγκρούσεων βλέπουμε ήδη να συμβαίνουν σε πολλές άλλες περιοχές του Σύμπαντος. Δεκάδες τέτοιες στενές επαφές έχουν καταγραφεί από τα μεγάλα τηλεσκόπιά μας. Στο παρελθόν όταν οι γαλαξίες ήταν μικρότεροι και οι αποστάσεις μεταξύ τους πολύ πιο μικρές τέτοιου είδους συγκρούσεις ήταν κάτι το συνηθισμένο. Μ' αυτόν άλλωστε τον τρόπο δημιουργήθηκαν και οι μεγάλοι σημερινοί γαλαξίες της γειτονιάς μας.

Ορισμένες φωτογραφίες που έχουμε λάβει μας δείχνουν τους γαλαξίες, όπως ήταν πριν από δέκα δισεκατομμύρια χρόνια κι έτσι μας αποκαλύπτουν την ύπαρξη χιλιάδων παρόμοιων συγκρούσεων στο παρελθόν. Την εποχή εκείνη οι γαλαξίες ήταν πολύ μικρότεροι και οι μεταξύ τους μέσες αποστάσεις πολύ πιο μικρές. Έτσι οι γαλαξιακές συγκρούσεις ήταν κάτι το συνηθισμένο. Φυσικά οι απόμακρες αυτές συγκρούσεις είναι πάρα πολύ αχνές και πολύ μικρές για να διαπιστωθούν οι λεπτομέρειες των διαδικασιών που συμβαίνουν εκεί. Στο σμήνος γαλαξιών



MS 1054-03, που βρίσκεται σε απόσταση 8 δισεκατομμυρίων ετών φωτός, για παράδειγμα, διακρίνονται εκατοντάδες γαλαξίες. Μία ομάδα Ευρωπαϊών αστρονόμων μελέτησε 81 συνολικά γαλαξίες και ανακάλυψε ότι οι 13 απ' αυτούς φαίνονται να είναι τα υπολείμματα πρόσφατων συγκρούσεων.

Οι γαλαξιακές συγκρούσεις, άλληλωςτε, επεξηγούν και το ρόλο που με την πάροδο του χρόνου εμφανίζονται όλο και πιο πολλοί ελλειπτικοί γαλαξίες. Ενώ δηλαδή στα σμήνη των γαλαξιών που υπήρχαν πριν από 7 δισεκατομμύρια χρόνια το 50% των γαλαξιών ήταν σπειροειδείς σήμερα μόνο 20% ανήκουν σ' αυτήν την κατηγορία. Επιπλέον τα αποτελέσματα των συγκρούσεων αυτών παρουσιάζουν πραγματικά ορισμένες εξωφρενικές καταστάσεις. Πάρτε, για παράδειγμα, το γαλαξία M64 ή NGC 4826, που έχει τα χαϊδευτικά ονόματα του «Μαυρομάτη» (δηλ. Καραγκιόζης) και της «Πεντάμορφης Κοιμωμένης» και είναι το αποτέλεσμα της σύγκρουσης ενός μεγάλου και ενός μικρού γαλαξία. Στο γαλαξία αυτό η εσωτερική του περιοχή περιστρέφεται προς μία κατεύθυνση, ενώ η εξωτερική περιστρέφεται αντίθετα. Η παράδοξη αυτή συμπεριφορά οφείλεται σε μία προηγούμενη σύγκρουση ενός μεγάλου και ενός μικρού γαλαξία, που δεν έχουν ακόμη βρει την ισορροπία τους.

Στην κατεύθυνση του αστερισμού Μέγας Κύων, πολύ κοντά στο λαμπρότερο άστρο του ουρανού, τον Σείριο, και σε απόσταση 114 εκατομμυρίων ετών φωτός από τη Γη, μπορούμε σήμερα να δούμε δύο σπειροειδείς γαλαξίες να προσπερνάει ο ένας τον άλλο. Οι ισχυρές παλιρροϊκές δυνάμεις του μεγαλύτερου γα-

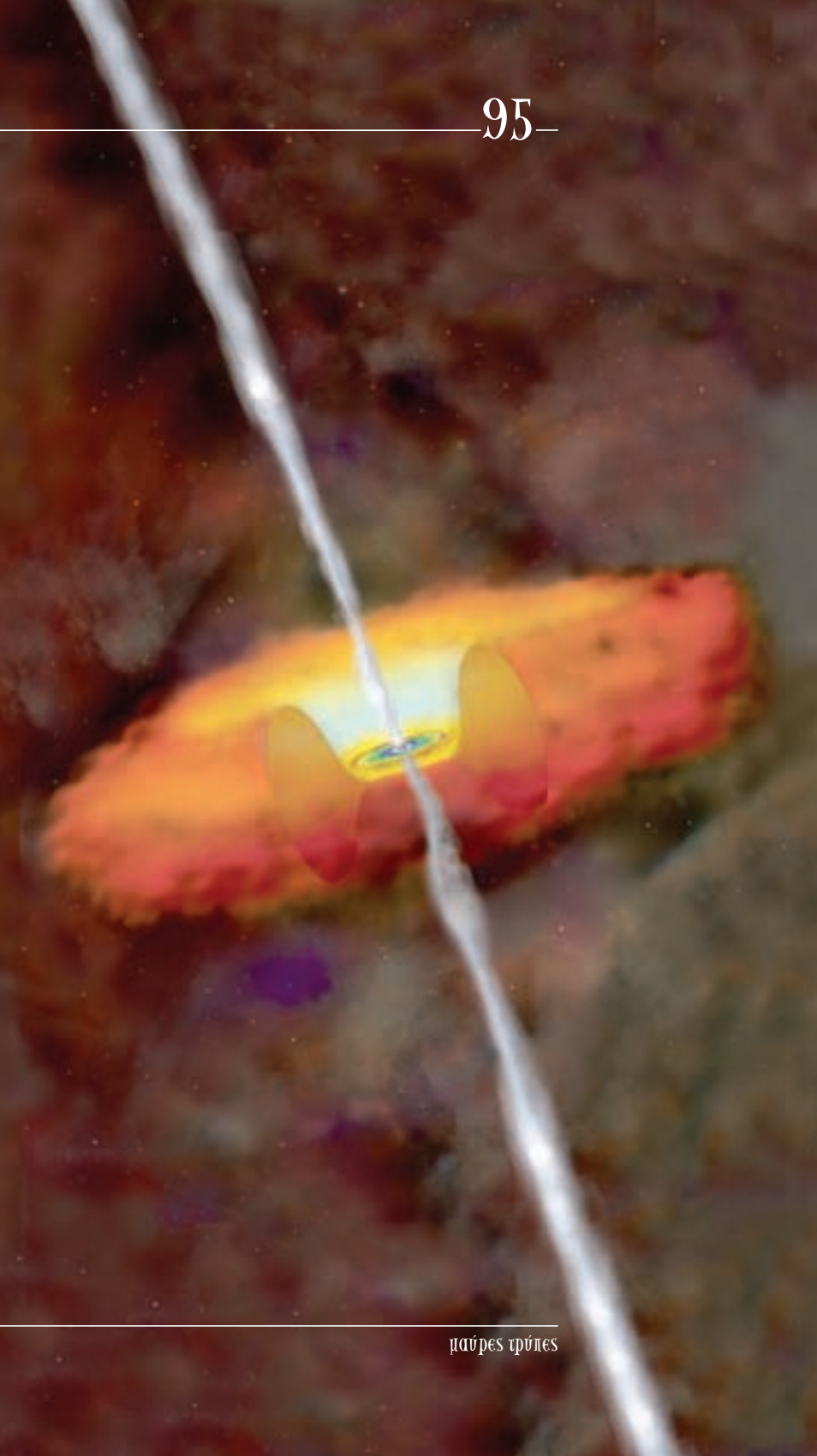
λαξία (NGC\* 2207), που έχει διάμετρο 143.000 ετών φωτός, έχουν διαστρεβλώσει το σχήμα του μικρότερου (IC 2163) αποσπώντας άστρα και αέρια τα οποία εκτείνονται σε μια περιοχή 100.000 ετών φωτός. Η πλησιέστερη προσέγγιση των δύο αυτών γαλαξιών πραγματοποιήθηκε πριν από 40 εκατομμύρια χρόνια, αλλά ο μικρότερος γαλαξίας δεν διαθέτει αρκετή ενέργεια για να ξεφύγει από τη βαρυτική έλξη του μεγαλύτερου. Έτσι θα συνεχίσουν να αλληλοσπρεβλώνουν την όλη τους δομή και τελικά ύστερα από ένα δισεκατομμύριο χρόνια θα σχηματίσουν ένα νέο γαλαξία με τα υλικά και των δύο. Δεν χρειάζεται όμως να έχουμε πάντα μια μετωπική σύγκρουση ώστε να προκληθούν στους δύο συμμετέχοντες γαλαξίες καταλυτικά αποτελέσματα. Ο γαλαξίας M-82, για παράδειγμα, έχει κυριολεκτικά διαλυθεί από την επίδραση μιας τρομαχτικά μεγάλης διαδικασίας αστρογένεσης. Και η αιτία αυτής της καταστροφής φαίνεται να είναι η παρουσία, εκεί κοντά, ενός μεγαλύτερου γαλαξία, ο οποίος προσέπερασε σχετικά πρόσφατα το μικρότερο με τον ίδιο τρόπο που ένα υπερωκεάνιο θα προσπέραγε ένα μικρό καΐκι. Έτσι η βαρυτική του επίδραση φαίνεται ότι συγκλόνισε το γείτόνά του σε τέτοιο βαθμό, ώστε να προκαλέσει μία πανγαλαξιακή αλυσισδωτή αντίδραση αστρογένεσης.

Στις αρχές του 2006, μια ομάδα Ευρωπαϊών αστροφυσικών, μελετώντας αρκετές δεκάδες γαλαξίες,

\*Ο κωδικός NGC σημαίνει «Νέος Γενικός Κατάλογος Γαλαξιών και Νεφελωμάτων» που δημοσιεύτηκε από τον Δανοϊρλανδό αστρονόμο Τζον Ντράγιερ το 1888, ενώ το IC είναι η ονομασία των «Παράρτημάτων» του (Index Catalog) που εξεδόθησαν αργότερα.

ανακάλυψε ότι οι γαλαξίες αυτοί διαθέτουν την ίδια ποσότητα σκοτεινής ύλης σήμερα όσο και πριν από έξι δισεκατομμύρια χρόνια. Με βάση την ανακάλυψη αυτή και με μία νέα τεχνική η οποία επιτρέπει την παρατήρηση των γαλαξιακών πυρήνων μέσα από τα πυκνά σύννεφα αερίων και σκόνης που τους περιβάλλουν, αποδείχτηκε ότι το 40% των γαλαξιών, σε απόσταση έξι δισεκατομμυρίων ετών φωτός, έχουν υποστεί συγκρούσεις με άλλους γαλαξίες, γεγονός που μας βοηθάει στην κατανόηση της εξέλιξης των γαλαξιών τα τελευταία έξι δισεκατομμύρια χρόνια. Το τελικό όμως αποτέλεσμα των γαλαξιακών αυτών συγκρούσεων εξαρτάται από τα μεγέθη των γαλαξιών και τις αποστάσεις μεταξύ τους.

Τέτοιου είδους αλληλεπιδράσεις έχουν μελετηθεί με ειδικά μαθηματικά μοντέλα, σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές, όπου παρατηρούνται παρόμοιες εξελίξεις με ήδη φωτογραφημένα αποτελέσματα αναστάτωσης της δομής ολλίκερων γαλαξιών. Εκατοντάδες παρόμοιοι γαλαξίες έχουν φωτογραφηθεί κατά καιρούς, ενώ ειδικοί επιστήμονες προσπαθούν επιστημονικά, με διάφορες μεθόδους, να προσδιορίσουν με ποιον τρόπο αυτές οι αλληλεπιδράσεις, επηρεάζουν την εξέλιξη των γαλαξιών, και των άστρων που αυτοί περιλαμβάνουν, σε μια στέρμονη προσπάθεια κατανόησης των μυστικών του Σύμπαντος. Κι όλες, οι μέχρι τώρα μελέτες, μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι στις καρδιές των γαλαξιών αυτών ελλοχεύουν γιγάντιες μαύρες τρύπες, οι οποίες είναι αποτέλεσμα των αρχέγονων αυτών συγκρούσεων στη διάρκεια των οποίων οι κεντρικές μαύρες τρύπες τους συνενώθηκαν σχηματίζοντας ακόμη πιο μεγάλες.

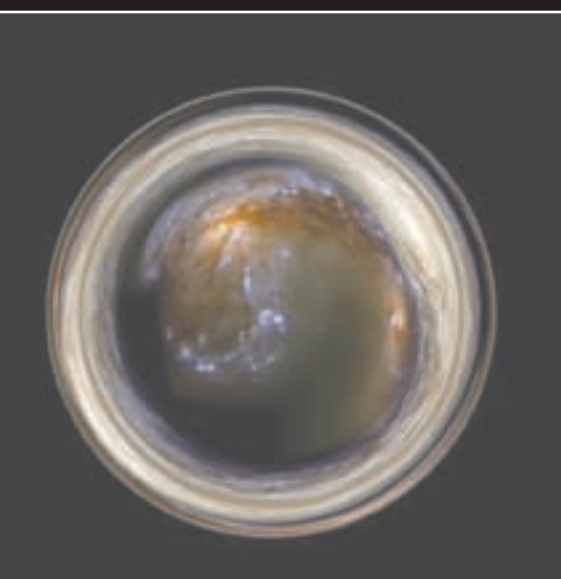
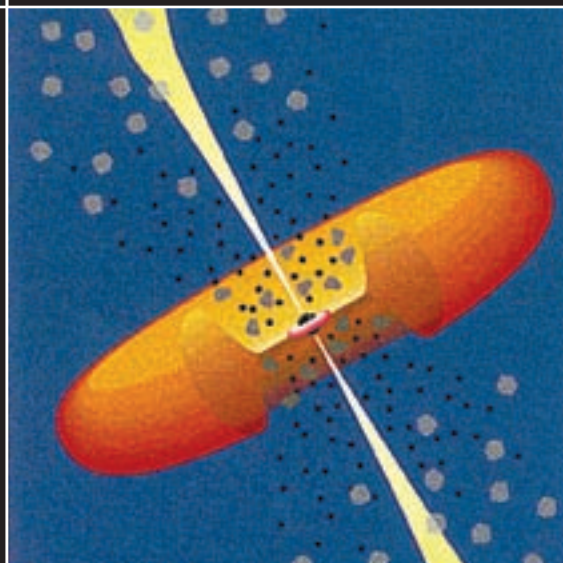
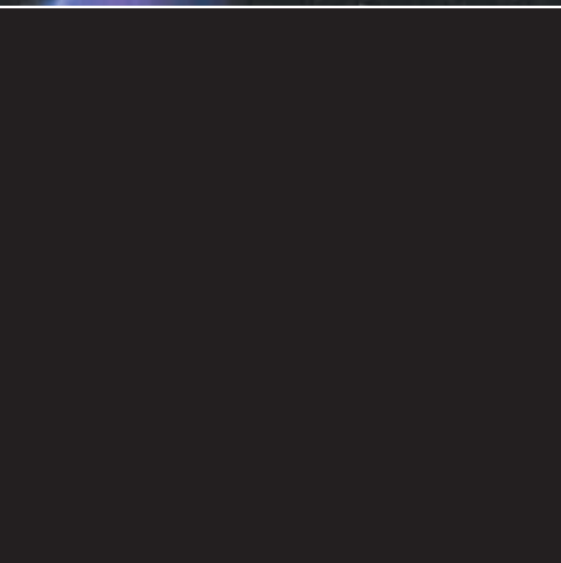
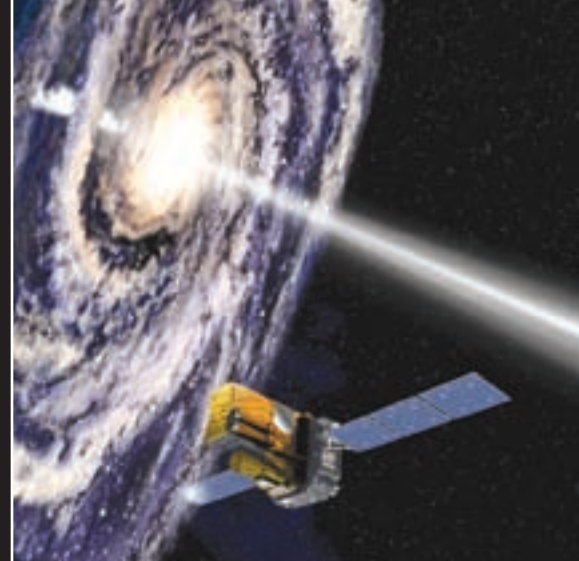
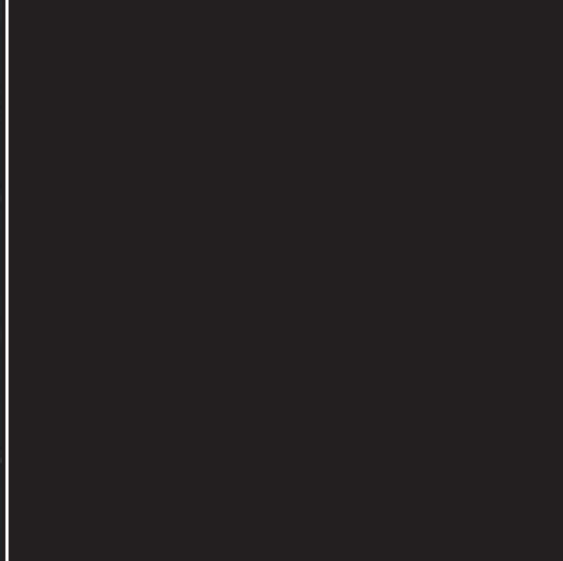
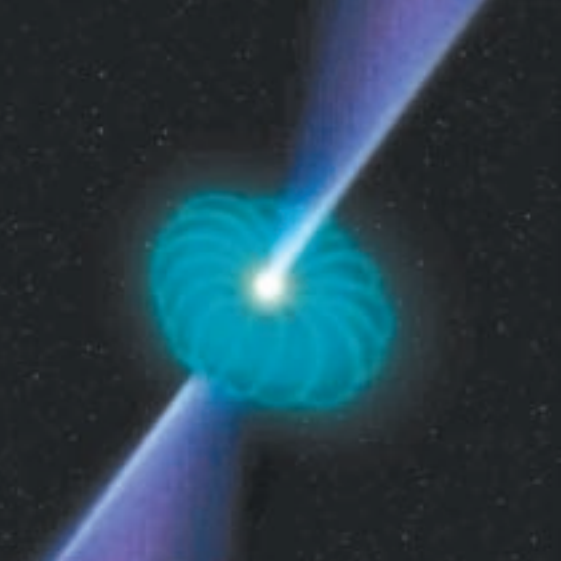






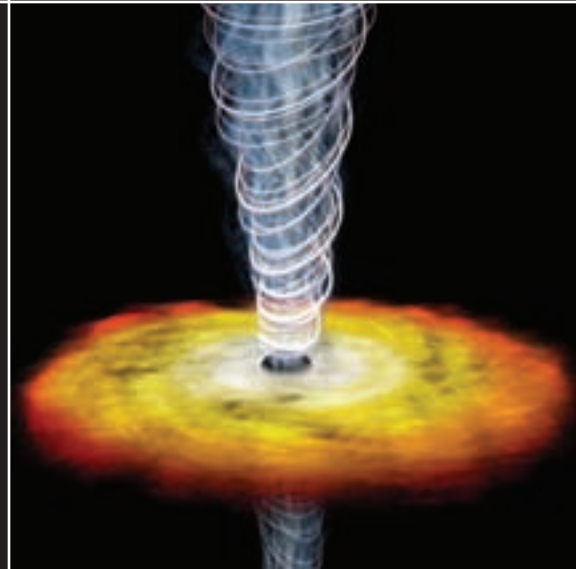
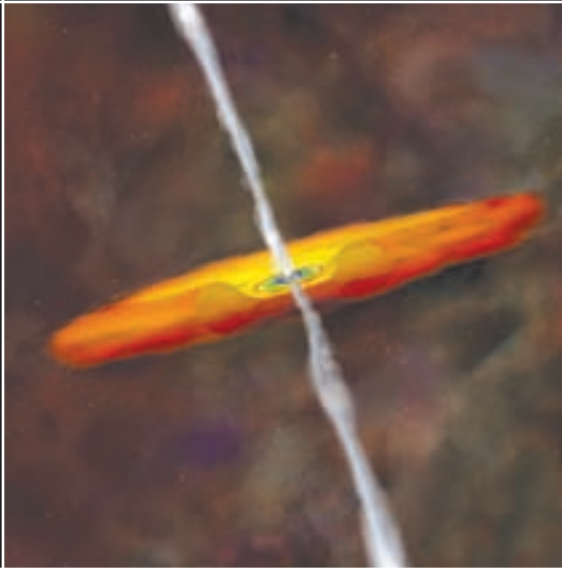
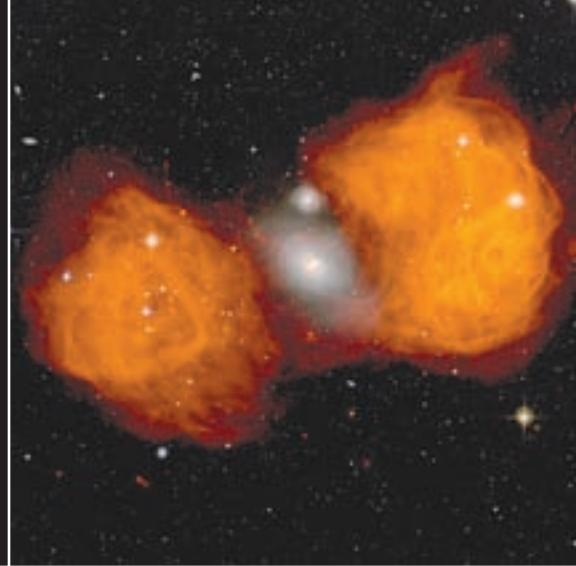






αστρόμορφα  
αντικείμενα

Τα κβάζαρ μπορούν σήμερα να θεωρηθούν ως μια ακραία μορφή πολύ δραστήριων γαλαξιών, που αντιλούν το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας τους από τους πυρήνες μέσα στους οποίους βρίσκονται.





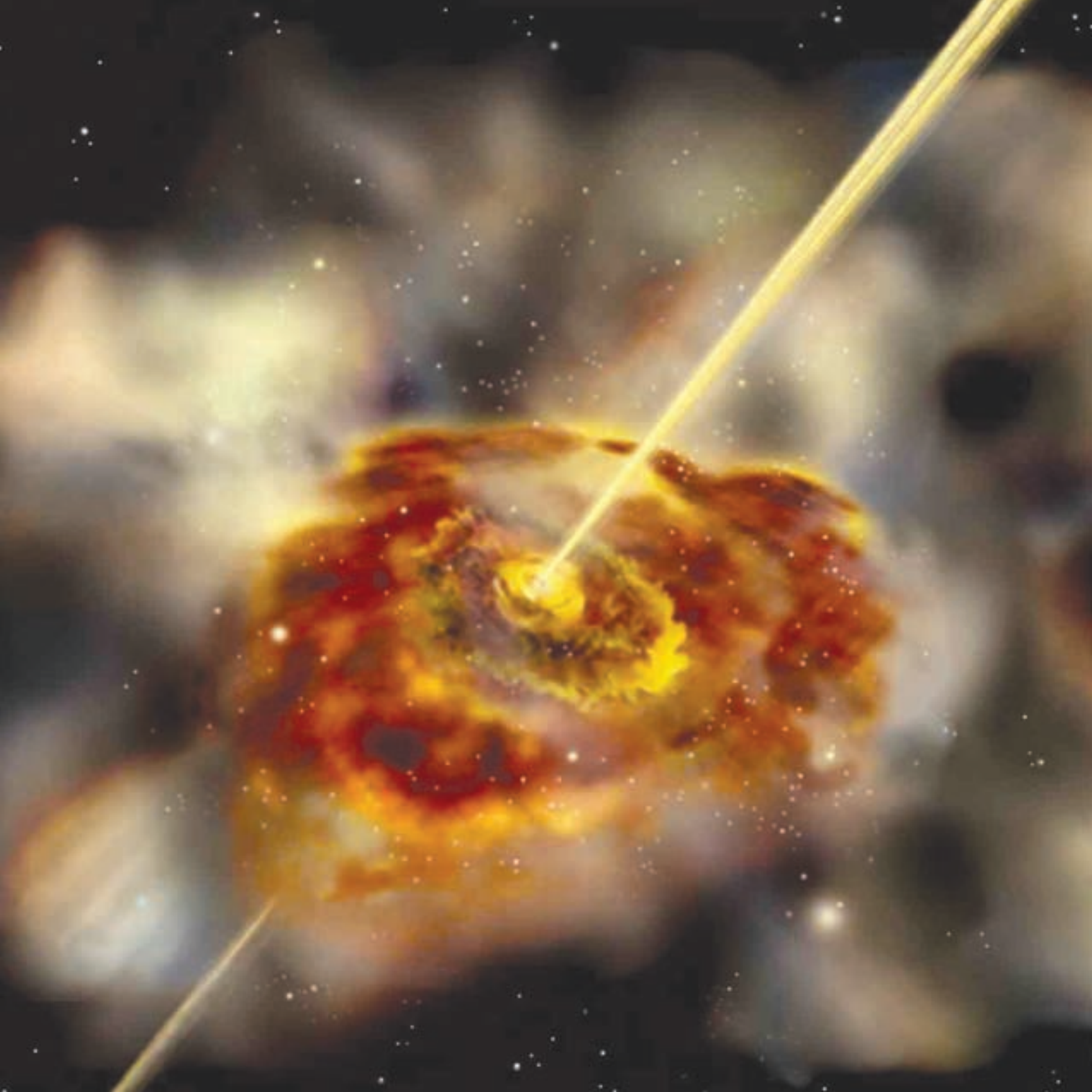
Φαινομενικά μοιάζουν με άστρα, όμως ούτε άστρα ούτε γαλαξίες θα μπορούσαν να παράγουν τόσο ενέργεια, ώστε να φαίνονται από τη Γη και μάλιστα από τόσο μεγάλες αποστάσεις. Επειδή δεν έχουν παρατηρηθεί στη γειτονιά μας συμπεράναμε ότι η ύπαρξή τους πρέπει να συνδέεται με κάποιο αρχικό επεισόδιο της ιστορίας του Σύμπαντος. Τα απόκοσμα αυτά ουράνια αντικείμενα εκπέμπουν την ενέργεια χιλίων γαλαξιών από ένα χώρο, που δεν είναι μεγαλύτερος από το Ηλιακό μας Σύστημα, ενώ καθένα απ' αυτά ίσως να είναι το ενεργό κέντρο, η εκρηγνυόμενη δηλαδή καρδιά, απόμακρων στο χώρο και στο χρόνο πρωτογενών γαλαξιών. Κι όμως, μέσα από τα τηλεσκόπιά μας μοιάζουν απλώς με άστρα, των οποίων η απίστευτη ταχύτητα απομάκρυνσής τους μας βοήθησε να διαλευκάνουμε ένα από τα πιο συνταρακτικά φαινόμενα του Σύμπαντος.

Η ιστορία μας αρχίζει τη δεκαετία του 1930 όταν οι μόνες πληροφορίες που παίρναμε από το Σύμπαν περιοριζόνταν στο μικρό μόνο παράθυρο του ορατού τμήματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Τη δεκαετία εκείνη ήταν που γεννήθηκε ένα νέο μέσο εξερεύνησης του Σύμπαντος, το ραδιοτηλεσκόπιο. Έτσι, η γέννηση της ραδιοαστρονομίας και η μετέπειτα εξέλιξή της αποτέλεσε αναμφισβήτητα ένα από τα σημαντικότερα επιστημονικά γεγονότα του 20<sup>ου</sup> αιώνα, αφού η ραγδαία ανάπτυξη των ραδιοτηλεσκοπίων μας έδωσε την ευκαιρία να δούμε το Σύμπαν και σε μήκη κύματος, που μέχρι τότε μας ήταν αόρατα.

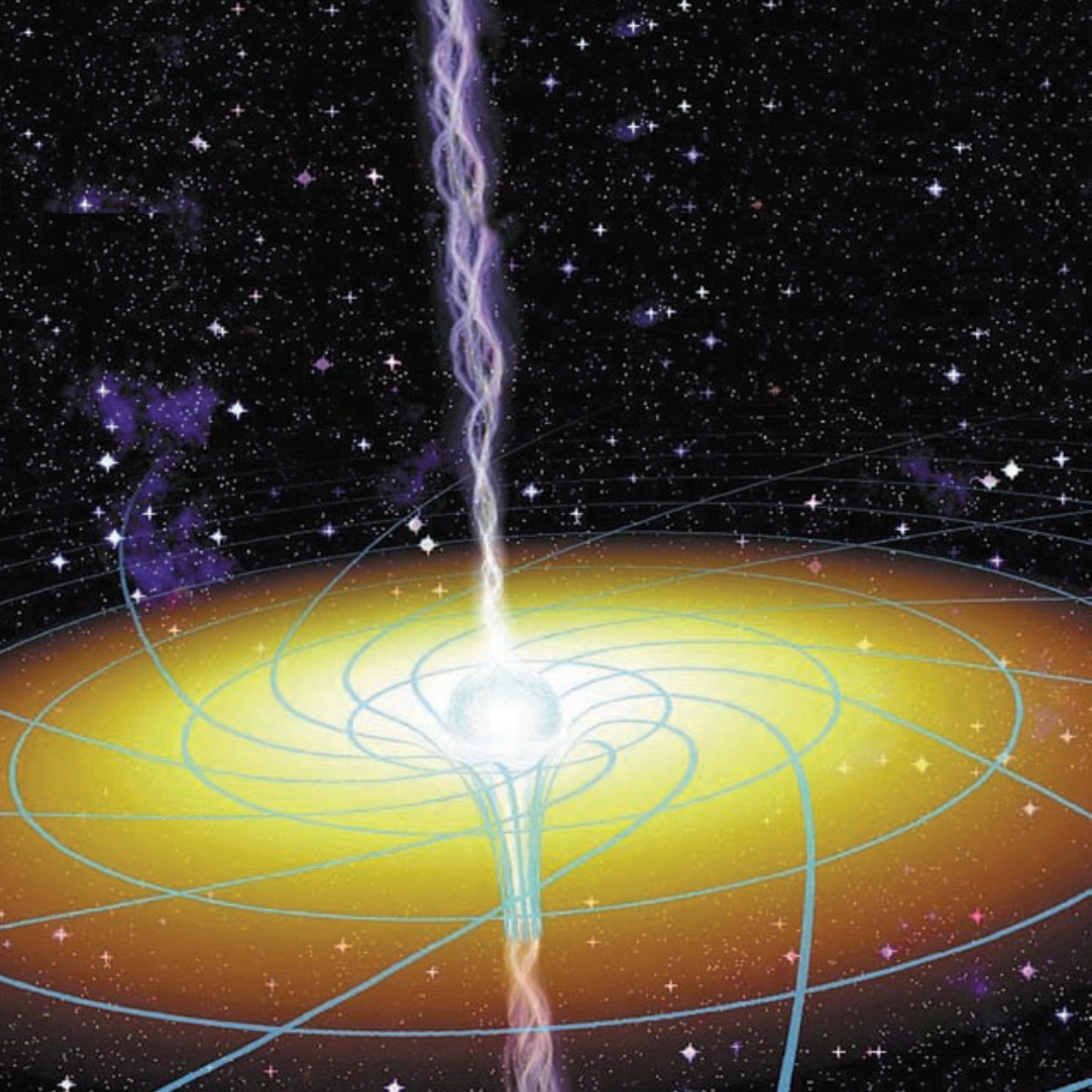
Σε μία από τις πλέον απόμακρες ραδιοπηγές, την 3C 48, ο αστρονόμος Άλαν Σάντατζ του Αστεροσκοπεί-

ου Χέιλ ανακάλυψε το 1960 ένα ιδιαίτερα λαμπρό άστρο. Μέχρι τότε ήταν γνωστό ότι τα συνηθισμένα άστρα είναι αδύνατον να εκπέμπουν τόσο ισχυρά ραδιοκύματα σε τόσο μεγάλες αποστάσεις. Επιπλέον το φάσμα αυτού του «άστρου» περιελάμβανε ασυνήθιστες φασματικές γραμμές. Το μυστήριο όμως μεγάλωσε ακόμη περισσότερο το 1962 με την ανακάλυψη ενός άλλου ραδιοάστρου, του 3C 273. Στις 5 Αυγούστου του 1962 τρεις Αυστραλοί αστρονόμοι παρατηρώντας τη Σελήνη να επισκιάζει τη ραδιοπηγή αυτή κατόρθωσαν, χρονομετρώντας τη στιγμή της εξαφάνισής και της επανεμφάνισής της, να εντοπίσουν με ακρίβεια τη θέση της, πάνω στην οποία ανακάλυψαν ένα πολύ φωτεινό άστρο. Το 1963 ο Μάρτεν Σμιντ του Τεχνολογικού Ινστιτούτου της Καλιφόρνια, στην προσπάθειά του να αναλύσει το φάσμα του 3C 273 συνειδητοποίησε ότι τέσσερις από τις λαμπρότερες φασματικές γραμμές του είχαν τις ίδιες αποστάσεις μεταξύ τους με τέσσερις από τις πιο γνωστές φασματικές γραμμές του υδρογόνου, με τη βασική διαφορά ότι ήταν τοποθετημένες αρκετά μακριά από τη συνηθισμένη τους θέση στο φάσμα· είχαν δηλαδή μια πολύ μεγάλη μετατόπιση προς το ερυθρό τμήμα του φάσματος. Εάν λοιπόν οι γραμμές αυτές ανήκαν πράγματι στο υδρογόνο, τότε σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Νόμου του Χαμπλ, το 3C 273 δεν θα μπορούσε να είναι ένα συνηθισμένο άστρο στο δικό μας Γαλαξία.

Ο Νόμος του Χαμπλ, 'όπως γνωρίζουμε μας «λέει» ότι η απόσταση ενός γαλαξία από τη Γη έχει άμεση σχέση με την ταχύτητα της απομάκρυνσής του από μας και αποτελεί μian άμεση συνέπεια της κοσμο-









λογικής διαστολής του Σύμπαντος. Όταν δηλαδή παρατηρούμε τους μακρινούς γαλαξίες ουσιαστικά κοιτάζουμε στο πολύ μακρινό παρελθόν, που σημαίνει ότι οι γαλαξίες εμφανίζονται σε μας όχι όπως είναι τη στιγμή που τους κοιτάζουμε, αλλά όπως ήσαν πριν από πολλά εκατομμύρια ή και δισεκατομμύρια χρόνια. Κι έτσι όσο μακρύτερα βρίσκεται ένας γαλαξίας τόσο γρηγορότερα απομακρύνεται από μας.

Επειδή λοιπόν οι γαλαξίες απομακρύνονται από τη Γη το φάσμα του φωτός που εκπέμπουν παρουσιάζει μια μετατόπιση των φασματικών γραμμών προς το ερυθρό τμήμα του φάσματος. Επειδή λοιπόν η ραδιοπηγή 3C 273 είχε μια μεγάλη μετατόπιση των φασματικών γραμμών καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι το αντικείμενο αυτό απομακρύνεται από τη Γη με πολύ μεγάλη ταχύτητα. Η μεγάλη όμως ταχύτητα απομάκρυνσης υποδηλώνει επίσης και μια πολύ μεγάλη απόσταση. Η απόσταση αυτή μπορεί να υπολογιστεί με βάση το Νόμο του Χαμπλ ο οποίος μας «λέει» ότι: η απόσταση αυτή είναι ίση με την ταχύτητα απομάκρυνσης διαιρούμενη με μια σταθερή τιμή που ονομάζεται **σταθερά του Χαμπλ**. Στην περίπτωση του 3C 273 η μετατόπιση των φασματικών γραμμών μάς πληροφορούσε ότι η ταχύτητα απομάκρυνσής του φτάνει τα 45.000 km/s, πράγμα που σημαίνει ότι το αντικείμενο 3C 273 πρέπει να βρίσκεται σε απόσταση τριών, περίπου, δισεκατομμυρίων ετών φωτός. Εκτοτε τα ασυνήθιστα χαρακτηριστικά αυτών των αντικειμένων δεν έπαψαν να προκαλούν σωρεία νέων ερωτημάτων στους αστρονόμους κι επειδή, παρόλο που δεν ήταν άστρα αλλά έμοιαζαν με άστρα, ονομάστηκαν **quasi-stellar objects** (αστρόμορφα

αντικείμενα) και για συντομία **quasar** (κβάζαρ).

Μέχρι την ανακάλυψη των κβάζαρ τα μεγαλύτερα και φωτεινότερα ουράνια σώματα στο Σύμπαν ήταν οι γαλαξίες. Ένας συνηθισμένος γαλαξίας όπως ο δικός μας, περιέχει 100-200 δισεκατομμύρια άστρα, ενώ ακόμη και οι πιο γιγάντιοι γαλαξίες, όπως ο ελλειπτικός υπεργίγαντας M-87, δεν είναι παρά μερικές μόνο φορές φωτεινότεροι από το δικό μας. Αντίθετα ένα κβάζαρ είναι 1.000 φορές λαμπρότερο από έναν ολόκληρο γαλαξία 100 δισεκατομμυρίων άστρων. Οι μεγάλες λοιπόν αποστάσεις των κβάζαρ σε συνδυασμό με την τεράστια ποσότητα ενέργειας που εξέπεμπαν είχαν προβληματίσει σοβαρά τους αστρονόμους.

Μερικά από τα κβάζαρ που ανακαλύφθηκαν στη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, είχαν φωτογραφηθεί τυχαία και πριν από πολλά χρόνια όταν κανείς δεν γνώριζε την πραγματική τους ταυτότητα. Το κβάζαρ 3C 273, για παράδειγμα, αναγνωρίστηκε σε πολλές παλιές φωτογραφίες του νυχτερινού ουρανού (η παλαιότερη χρονολογείται από το 1877). Μελετώντας προσεκτικά και συγκρίνοντας τις φωτογραφίες αυτές, οι αστρονόμοι ανακάλυψαν ορισμένες σημαντικές αυξομειώσεις στη φωτεινότητα των κβάζαρ, γεγονός που μεγάλωσε ακόμη περισσότερο το μυστήριο γύρω από την ταυτότητά τους. Αυτό σημαίνει ότι το μέγεθός τους είναι πολύ μικρό. Παρατηρήσεις του κβάζαρ 3C 273 στη διάρκεια ενός έτους (1988) έδειξαν ότι το αινιγματικό αυτό αντικείμενο παρουσίαζε μια βίαιη δραστηριότητα τεσσάρων μηνών με αύξηση της φωτεινότητάς του κατά 50%. Η ταχύτερη μάλιστα αυξομείωση συνέβη στη διάρκεια μίας μόνον ημέρας.



Φωτο-  
γραφίες ενός άλλου κβάζαρ,  
του 3C 279, από το 1936 μας δείχνουν ότι το  
κβάζαρ αυτό αύξησε τη φωτεινότητά του τόσο πολύ, ώστε στο  
μέγιστο της δραστηριότητάς του έλαμπε με φωτεινότητα 10.000 φο-  
ρές μεγαλύτερη από τη φωτεινότητα του γαλαξία της Ανδρομέδας. Και όμως  
το μέγεθός του δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερο από το μέγεθος του Ηλιακού μας  
Συστήματος. Πώς όμως είναι δυνατόν τα τόσο μικρά αυτά ουράνια σώματα, που βρίσκονται  
σε τόσο τεράστιες αποστάσεις από τη Γη, να εκπέμπουν τόσο μεγάλες ποσότητες ενέργειας;

Πενήντα εκατομμύρια έτη φωτός μακριά μας βρίσκεται ο γιγάντιος ελλειπτικός γαλαξίας M-87, του  
οποίου ο πυρήνας αποτελείται από ένα πυκνό μείγμα άστρων και υπερθερμασμένων αερίων. Πρόκει-  
ται για ηλεκτρόνια που επιταχύνονται σπειροειδώς μέσα σε ισχυρά μαγνητικά πεδία, με αποτέλεσμα την  
εκτόξευση ενός τεράστιου πίδακα με γαλακτερή απόχρωση. Οι μέχρι σήμερα έρευνες μάς οδηγούν στο συ-  
μπέρασμα ότι το φαινόμενο αυτό πρέπει να είναι το αποτέλεσμα μιας αλυσιδωτής καταστροφής εκατομμυρί-  
ων άστρων στον πυρήνα τέτοιων γαλαξιών. Όμως, μια τέτοια καταστροφή μπορεί να εξηγηθεί μόνο από την  
ύπαρξη μιας τεράστιας κεντρικής μαύρης τρύπας, η οποία καταβροχθίζει το κέντρο παρόμοιων γαλαξιών. Και  
πράγματι η μαύρη τρύπα του M-87 υπολογίζεται ότι περιέχει υλικά μερικών δισεκατομμυρίων άστρων.

Οι περισσότεροι αστρονόμοι συμφωνούν σήμερα στο ότι τα αστρόμορφα αυτά ουράνια αντικείμενα βρίσκο-  
νται στον πυρήνα πολύ μακρινών γαλαξιών και ότι έχουν άμεση σχέση με τις μαύρες τρύπες. Τα υλικά που  
αιχμαλωτίζονται από τις μαύρες τρύπες δημιουργούν βαρυτική ενέργεια, η οποία στη συνέχεια ενεργο-  
ποιεί τα κβάζαρ. Έτσι τα κβάζαρ μπορούν σήμερα να θεωρηθούν ως μια ακραία μορφή πολύ δραστή-  
ριων γαλαξιών, που αντλούν το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας τους από τους πυρήνες μέσα  
στους οποίους βρίσκονται.

Στην καρδιά του Υπερσμήνου της Παρθένου βρίσκεται ο πιο θεαματικός, ίσως, από  
όλους τους γαλαξίες: ο γιγάντιος ελλειπτικός γαλαξίας Παρθένος Άλφα. Σε  
σύγκριση με τους συνηθισμένους γαλαξίες, όπως το δικό μας, ο γαλα-  
ξίας αυτός είναι πέντε φορές μεγαλύτερος, αποτελούμενος  
από ένα τρισεκατομμύριο άστρα, ενώ είναι στε-  
φανωμένος με περισσότερα

από 1.000 σφαιρωτά σμήνη.

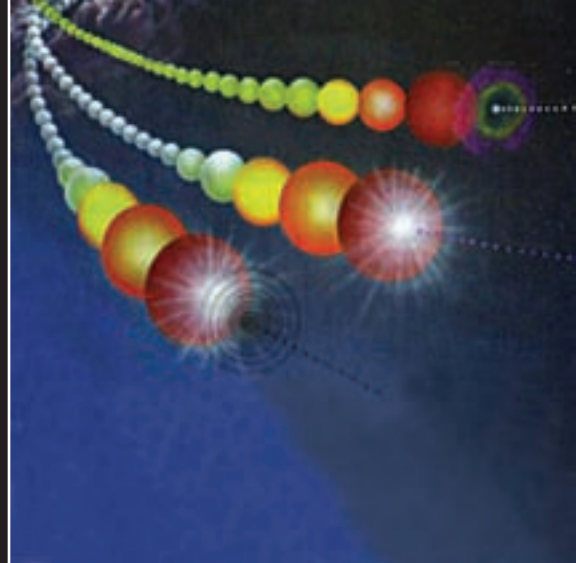
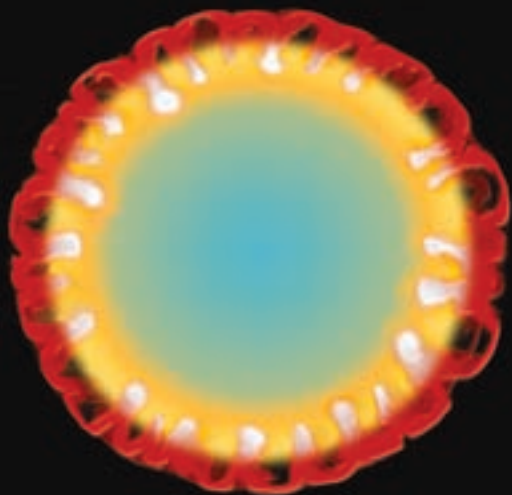
Είναι μια από τις ισχυρότερες πηγές ραδιοακτινοβολιών και ακτίνων Χ, ενώ στο πλάι του ένας πίδακας πλάσματος, απογυμνωμένων από ηλεκτρόνια ατομικών πυρήνων, προβάλλει σαν ένα κοκαλιάρικο δάχτυλο από τον πυρήνα του.

Πριν από 15.000 χρόνια ο πίδακας αυτός εκτοξεύτηκε με ταχύτητα που άγγιζε την ταχύτητα του φωτός: με τα μέτρα και τα σταθμά του γαλαξιακού χρόνου ο πίδακας πρέπει να εμφανίστηκε τόσο απότομα και ξαφνικά όσο μία αστραπή. Το πλάσμα που παρατηρούμε, πρέπει να προέρχεται από υλικά που αποβλήθηκαν από καταδικασμένα άστρα, καθώς αυτά κατέρρεαν στην αχόρταγη άβυσσο μιας γαλαξιακής μαύρης τρύπας. Μιας ουράνιας διαστημικής ρουφτήχτρας με ένα τόσο ισχυρό βαρυτικό πεδίο που ούτε και το ίδιο της το φως, όπως είπαμε, δεν μπορεί να δραπετεύσει από τα δεσμά της. Το κεντρικό δηλαδή στολίδι του υπέροχου αυτού γαλαξία είναι μια καρδιά απόλυτου σκότους, ένας τάφος που περιλαμβάνει τα λείψανα εκατοντάδων εκατομμυρίων άστρων.

Συνοπτικά, λοιπόν, θα μπορούσαμε να πούμε ότι η ταύτιση των κβάζαρ με την ύπαρξη μιας μαύρης τρύπας στον πυρήνα των γαλαξιών που τα φιλοξενεί μπορεί να εξηγήσει την προέλευση της ενέργειάς τους, αλλά αφήνει αναπάντητο το ερώτημα της γέννησής τους. Έχει παρατηρηθεί ότι ο αριθμός των κβάζαρ πληθαίνει όσο μεγαλύτερες είναι οι αποστάσεις. Πριν από 12 δισεκατομμύρια χρόνια η πυκνότητα των κβάζαρ ήταν 1.000 φορές μεγαλύτερη απ' ό,τι είναι σήμερα. Φαίνεται λοιπόν ότι οι διαδικασίες που προκάλεσαν τη γέννηση των κβάζαρ ήσαν πολύ πιο έντονες στα πρώτα στάδια της εξέλιξης του Σύμπαντος.

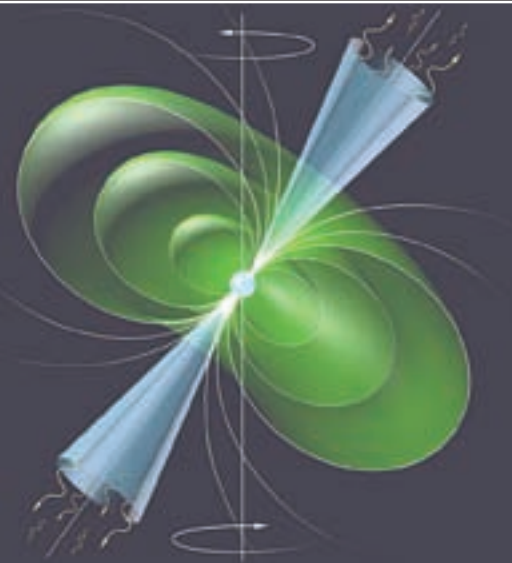
Το συμπέρασμα λοιπόν των σύγχρονων ερευνών μας είναι ότι τα κβάζαρ άρχισαν να δημιουργούνται ξαφνικά πριν από 13 περίπου δισεκατομμύρια χρόνια, ενώ στη συνέχεια, μετά από 4 περίπου δισεκατομμύρια χρόνια, η διαδικασία αυτή άρχισε να εξασθενεί. Σύμφωνα με την άποψη αυτή οι γαλαξίες διαμορφώθηκαν πριν από τα κβάζαρ, όταν το Σύμπαν είχε ηλικία λίγο μεγαλύτερη του ενός δισεκατομμυρίου ετών. Έτσι η χρονική διαφορά στη δημιουργία των γαλαξιών και των κβάζαρ αντιπροσωπεύει το χρόνο που απαιτήθηκε για να δημιουργηθούν οι αρχικές μαύρες τρύπες στον πυρήνα των πρωτογενών εκείνων γαλαξιών, που αμέσως μετά ενεργοποιήθηκαν σχηματίζοντας τα κβάζαρ.

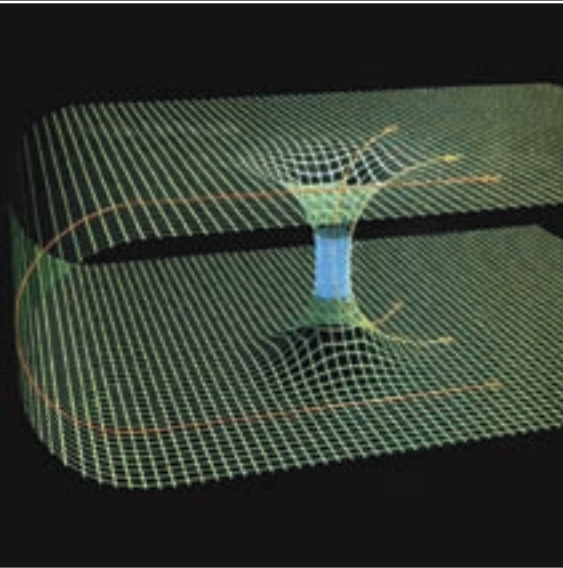




ΕΠΙΛΟΓΟΣ:

Κόσμοι παράλληλοι





Το Σύμπαν στο οποίο ζούμε ίσως να είναι το πετυχημένο αποτέλεσμα μιας μαύρης τρύπας που βρίσκεται σε κάποιο άλλο Σύμπαν παράλληλο με το δικό μας .



Υπάρχουν σήμερα αρκετοί θεωρητικοί κοσμολόγοι (όπως οι Έντουαρντ Τράιον, Άλαν Γκουθ, Άλεξ Βιλένκιν κ.ά.), οι οποίοι έχουν προτείνει την ύπαρξη ενός «άπειρου» αριθμού παράλληλων συμπαντικών μανάδων και μωρών. Μία από τις θεωρητικές αυτές απόψεις είναι και η ιδέα ότι το Σύμπαν στο οποίο ζούμε βρίσκεται στο εσωτερικό μιας μαύρης τρύπας και ότι αυτό είναι ένα μόνο από έναν «άπειρο» αριθμό συμπάντων!

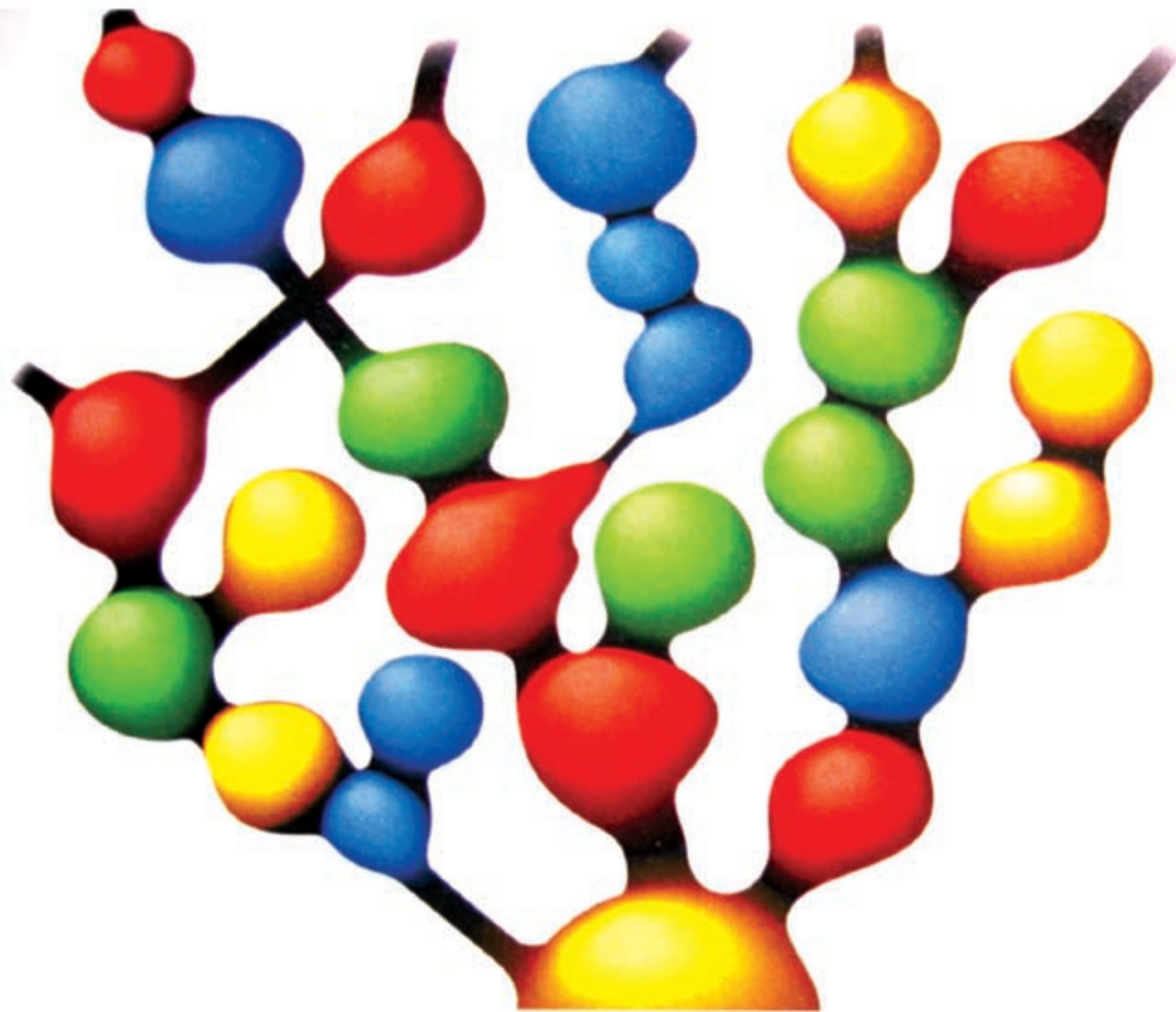
Η αρχική ιδέα αυτής της θεώρησης του Σύμπαντος διατυπώθηκε για πρώτη φορά το 1973 από τον Έντουαρντ Τράιον. Προκειμένου να γίνει κατανοητή η άποψη αυτή θεωρήστε ότι το Σύμπαν είναι η επιφάνεια των δύο διαστάσεων ενός μπαλιονιού που φουσκώνει. Πάνω σ' αυτήν την επιφάνεια φανταστείτε ένα μικροσκοπικό ανεύρυσμα (ένα μικρό «σπυράκι» ή μία μικρή «φουσκάλα»), το οποίο δεν είναι παρά η «ανώμαλη ιδιομορφία» μιας μαύρης τρύπας στο αρχικό Σύμπαν.

Φανταστείτε τώρα ότι το ανεύρυσμα αυτό αρχίζει να διαστέλλεται σε ένα νέο πλαίσιο διαστάσεων χώρου και χρόνου έξω και αυτόνομα από το χωρόχρονο του αρχικού Σύμπαντος (του αρχικού μπαλιονιού). Δημιουργείται έτσι ένα νέο μπαλιόνι που φουσκώνει αυτόνομα σαν ένα νέο διαστελλόμενο Σύμπαν, το οποίο όμως **συνδέεται** με το αρχικό Σύμπαν με μία σήραγγα που μοιάζει με σκουληκότρυπα. Σ' αυτήν

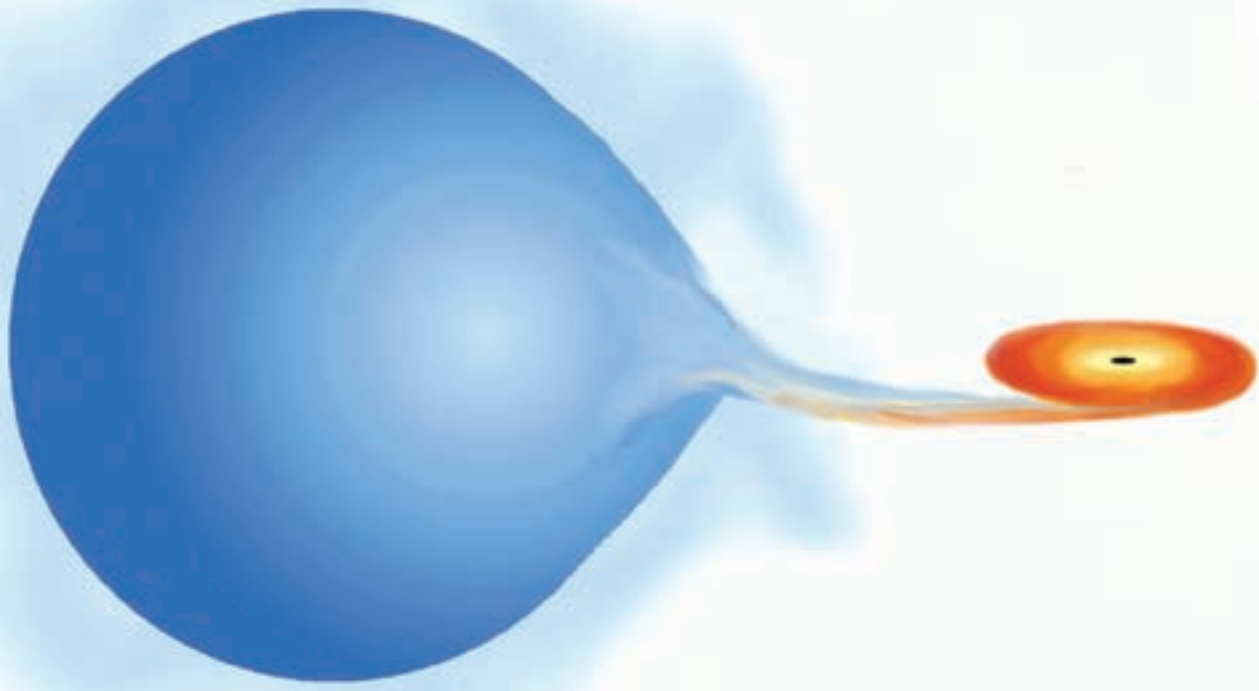
την περίπτωση τα δύο σύμπαντα (μάνα και μωρό) συνεχίζουν κανονικά την αυτόνομη εξέλιξή τους χωρίς όμως καμία επικοινωνία μεταξύ τους, όπως ίσως να έγινε και στην περίπτωση του δικού μας Σύμπαντος στο χρόνο  $10^{-35}$  του πρώτου δευτερολέπτου μετά τη Μεγάλη Έκρηξη.

Μ' αυτήν την έννοια, λοιπόν, το Σύμπαν στο οποίο ζούμε ίσως να είναι το πετυχημένο αποτέλεσμα μιας μαύρης τρύπας, που βρίσκεται σε κάποιο άλλο παράλληλο με το δικό μας Σύμπαν, ενώ κάθε μία από τις υπόλοιπες μαύρες τρύπες του δικού μας Σύμπαντος ίσως να είναι κι αυτή υποψήφια να γίνει ένα νέο σύμπαν-μωρό, που με τη σειρά του θα μπορέσει, αν επιζήσει, να δημιουργήσει και άλλα σύμπαντα «εις το διηνεκές».

Πολλά από τα παράλληλα σύμπαντα-μωρά φυσικά δεν κατορθώνουν να μεγαλώσουν πέρα από το μέγεθος που έχει το μήκος του Πλανκ ( $10^{-33}$  cm), αφού αμέσως μετά τη γέννησή τους καταρρέουν καταπίνοντας τον εαυτό τους. Τα τυχερά όμως παράλληλα σύμπαντα-μωρά, που κατορθώνουν να αναπτύξουν μια πληθωριστική διαστολή αμέσως μετά τη δημιουργία τους, όχι μόνο δεν κινδυνεύουν να καταρρεύσουν, αλλά μπορεί επίσης και να δημιουργήσουν τεράστιες ποσότητες ενέργειας και ύλης, με την εμφάνιση εικονικών σωματιδίων, συνεχίζοντας έτσι την αυτόνομη διαστολή και ύπαρξή τους.







# ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

## ΓΙΑ ΠΑΙΔΙΑ

- Asimov, Isaac, Κβάζαρς, πούλζαρς και μαύρες τρύπες, Αθήνα: Κέδρος, 1988.  
Couper, Heather, Μαύρες τρύπες, Αθήνα: Καστανιώτης, 1997.  
Oxlade, Chris, Το μυστήριο που κρύβουν οι μαύρες τρύπες, Αθήνα: Σαββάλας, 2004.

## ΓΙΑ ΕΝΗΛΙΚΕΣ

- Al - Khalili, Jim, Σκουληκότρυπες, μαύρες τρύπες και χρονομηχανές, Αθήνα: Τραυλός, 2001.  
Arnett, David, Supernovae and nucleosynthesis, Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1996.  
Begelman, Mitchell, Gravity's fatal attraction, New York: Scientific American Library, 1996.  
Berger, Melvin, Quasars, pulsars and black holes in space, New York: Putnam's Sons, 1977.  
Clark, David H., The historical supernovae, Oxford; New York: Pergamon, 1977.  
Dauber, Philip M., The three big bangs, Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1996.  
Ferguson, Kitty, Prisons of light, Cambridge: Cambridge University Press, 1996.  
Goldsmith, Donald, Supernova! New York: Martin St., 1989.  
Gribbin, John, Stardust, London: Penguin, 2000.  
Hawking, Stephen W., Μαύρες τρύπες, σύμπαντα - βρέφη και άλλα δοκίμια, Αθήνα: Κάτοπτρο, 1993.  
Hawking, Stephen W., Το χρονικό του χρόνου, Αθήνα: Κάτοπτρο, 1997.  
Kirshner, Robert P., The extravagant universe, Princeton; Oxford: Princeton University Press, 2004.  
Luminet, Jean-Pierre, Black holes, Cambridge: Cambridge University Press, 1992.  
Marschall, Laurence A., The supernova story, New York; London: Plenum, 1988.  
Melia, Fulvio, The edge of infinity, Cambridge: Cambridge University Press, 2003.  
Murdin, Paul, End in fire, Cambridge: Cambridge University Press, 1990.  
Novikov, Igor, Οι μαύρες τρύπες και το σύμπαν, Αθήνα: Κωσταράκης, 1992.  
Osterbrock, Donald E., Stars and galaxies, New York: Freeman W.H., 1990.  
Pickover, Clifford A., Black holes, New York; Chichester: Wiley, 1996.  
Taylor, Edwin F., Exploring black holes, San Francisco: Addison-Wesley, 2000.  
Thorne, Kip S., Black holes and time warps, New York; London: Norton W. W. & Company, 1994  
Wald, Robert M., Black holes and relativistic stars, Chicago; New York: University of Chicago Press, 1998.



# ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ

**Σενάριο-Σκηνοθεσία**  
**Επιστημονική Επιμέλεια**  
Διονύσης Π. Σιμόπουλος

**Ελληνική Αφήγηση**  
Γιάννης Φέρτης

**Αγγλική Αφήγηση**  
Dunkan Skinner

**Μουσική Σύνθεση και Εκτέλεση**  
**Ένθεση & Μείξη Ήχου**  
Αναστάσιος Κ. Κατσάρης

**Διεύθυνση Παραγωγής**  
Michael Daut  
Διονύσης Π. Σιμόπουλος

**Τεχνική Διεύθυνση**  
Μάνος Κιτσώνας

**Μοντάζ Εικόνas**  
Παναγιώτης Δ. Σιμόπουλος

**Επιμέλεια Αφήγησης**  
Φώτης Πετρίδης

**Εικονική Πραγματικότητα**  
**3D Animations**

**Minds and Bytes**  
Αλέξανδρος Αραπαντώνης

**Evans & Sutherland**  
Digital Theater Division  
Salt Lake City, Utah, USA

**Spitz, Inc.**  
Chadds Ford, Pa., USA

## **Προγραμματισμός Αυτοματισμών**

Μάνος Κιτσώνας  
Γιώργος Μαυρίκος  
Χρήστος Χρηστογιώργος

**Τεχνικοί Παραγωγής**  
Γιώργος Μαυρίκος  
Χρήστος Χρηστογιώργος

**Διαφάνειες & Γραφικά**  
Μάριος Παρίσης

## **Clark Planetarium Credits**

**Διεύθυνση Παραγωγής**  
Mike Murray

**Εικονική Πραγματικότητα**  
Stephen Christopherson  
Jonathan Dansie  
Andrea Doubek  
David Merrel

**Προγραμματισμός Μαύρης**  
**Τρύπας**

James Stanard  
Penn State Center for  
Gravitational Wave Physics

## **Denver Museum of Nature** **and Science Credits**

**Διεύθυνση Παραγωγής**  
Joslyn Schoemer  
**Επιστημονική Επιμέλεια**  
Andrew Hamilton  
Lynn Cominsky

**Χρηματοδότηση**  
National Science Foundation  
NASA's Gama-ray Large Area  
Space Telescope (GLAST)

**Σε Συνεργασία με την**  
**NOVA**

**National Center for**  
**Supercomputing Applications**  
**Credits**

**University of Illinois, Urbana-**  
**Champaign**

**NCSA Παραγωγή  
και Καλλιτεχνική Διεύθυνση**  
Donna Cox

**Καλλιτεχνική Διεύθυνση  
και Χορογραφία**  
Robert Patterson

**Τεχνική Διεύθυνση**  
Stuart Levy

**Ομάδα Εξομοιωτών NCSA**  
Lorne Leonard  
Matthew Hall  
Alex Betts  
Dave Bock

**Εξομίωση Μαύρης Τρύπας**  
Andrew Hamilton  
University of Colorado, Boulder

**Αστροφυσικές Εξομοιώσεις**  
Michael Norman  
Brian O'Shea  
Simon Portegies-Zwart  
Steven McMillan  
John Hawley  
Tiziana Di Matteo  
Lars Hernquist  
Brant Robertson  
Volker Springel

Andrea Ghez  
Jessica Lu  
Brent Tully  
ESA Hipparcos Mission

**Εικονική Πραγματικότητα**  
James Arthurs  
Zachary Zager

**Παραγωγός Spitz, Inc.**  
Mike Bruno

**Λειτουργική Υποστήριξη**

**Διεύθυνση Λειτουργίας**  
Βάβια Λύρατζη  
Κώστας Πανταζόπουλος

**Τεχνική Υποστήριξη**  
Γιώργος Τσεσμελής  
Λουκάς Αρμπιλιάς  
Άρης Νουκάκης

**Χειριστές-Τεχνικοί Πλανηταρίου**  
Χριστόδουλος Χαηικιόπουλος  
Γιάννης Χειράκης

**Γραμματεία-Κρατήσεις-Ταμείο**  
Νάντια Σινοπούλου  
Σπυριδούλα Χαηικιοπούλου

Ευαγγελία Κοσιάδου  
Γιώργος Παππούς  
Ταρσίτσα Χρηστίδου

**Διεύθυνση Επικοινωνίας**  
Γλυκερία Ανυφαντή

**Δημόσιες Σχέσεις**  
Εύη Γαρδίκη  
Νίκος Θωμαΐδης  
Πένυ Θωμοπούλου  
Ναυσικά Ποθενάκη  
Πωλίνα Τριανταφύλλου

**Ηχοθηψία**  
Stargazer Audio  
Ιδρύματος Ευγενίδου

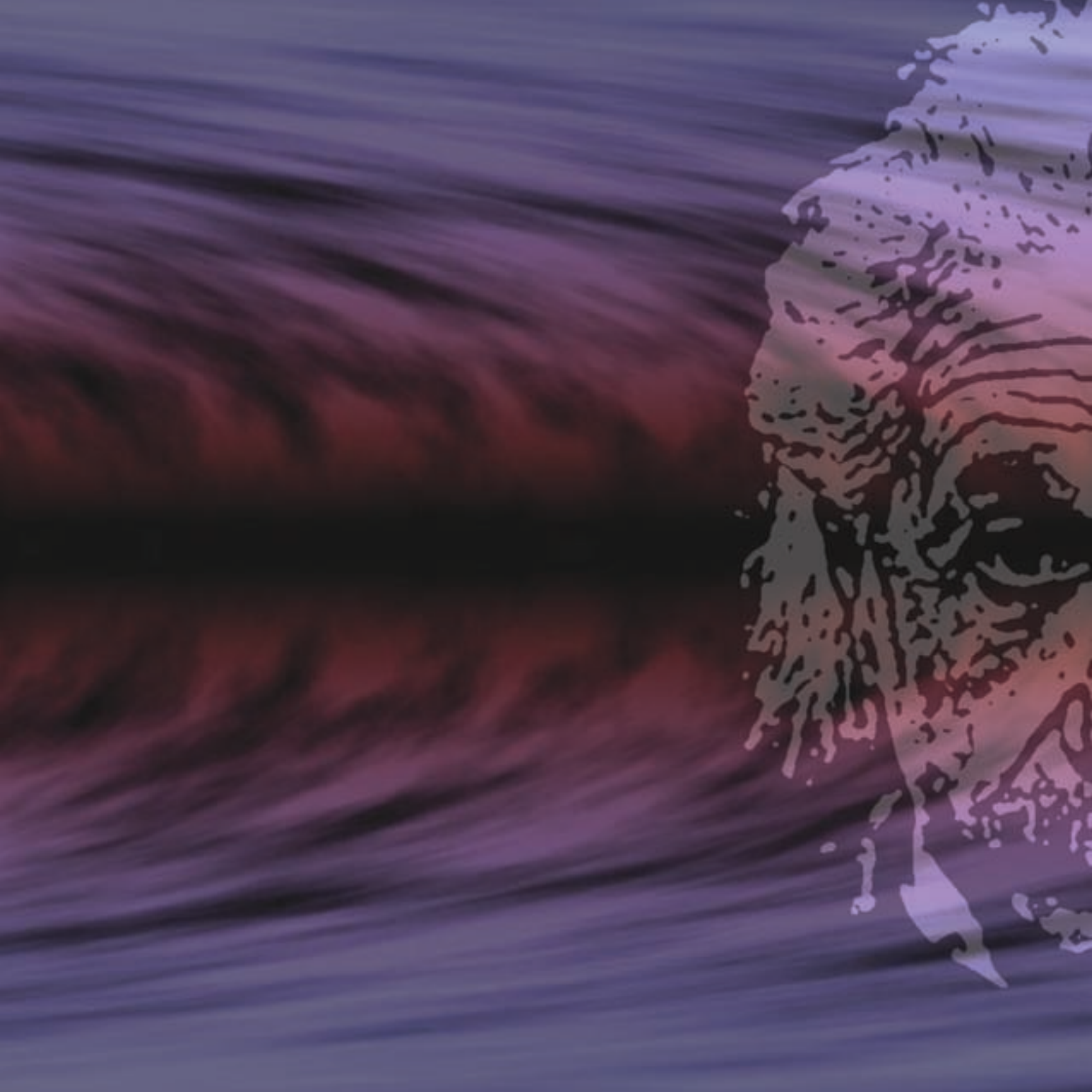
**Αναπαραγωγή Ήχου**  
6.1 Surround Sound 40.000 w

**Συστήματα Παρουσίασης**  
Digistar 3  
Digital Sky  
SkyVision

**Παραγωγή**  
Ίδρυμα Ευγενίδου  
© 2006









Τα  
τελευταία χρόνια  
έχουν ανακαλυφτεί ορισμένα σημεία  
στο Σύμπαν από τα οποία τίποτα δεν μπορεί  
να διαφύγει, ούτε κι αυτό ακόμη το φως: αστρονο-  
μικά αντικείμενα όπου ο χώρος και ο χρόνος παύουν να  
υπάρχουν. Τίποτα δεν μπορεί να συγκριθεί με τη βαρυτική  
δύναμη μιας Μαύρης Τρύπας, στο εσωτερικό της οποίας οι νό-  
μοι της Φυσικής δεν έχουν καμία υπόσταση. Στη θεαματική αυτή  
παράσταση θα ανακαλύψουμε αδυσώπητες δυνάμεις ζωής και  
θανάτου, οι οποίες διεγείρουν την ύλη μέσα σε αμείλικτα καμίνια  
γιγάντιων ήλιων που καταστρέφονται σε πύρινα ολοκαυτώματα,  
σ' ένα πραγματικά βίαιο Σύμπαν. Η παράστασή μας παρουσιάζει,  
με κατανοητό τρόπο, όλα όσα γνωρίζει σήμερα η επιστήμη  
για τις Μαύρες Τρύπες που ελλοχεύουν στο Διάστημα,  
καθώς επίσης και τους τρόπους με τους οποίους  
μπορούμε να ανακαλύψουμε τις σκοτεινές  
διαστημικές φωλιές  
τους.

