

HIPPARCHOS

The Hellenic Astronomical Society Newsletter

Volume 2, Issue 6

ISSN: 1790-9252



**9ο
Ελληνικό
Αστρονομικό
Συνέδριο**
Αθήνα
20-24/9/2009





HIPPARCHOS

ISSN: 1790-9252

Hipparchos is the official newsletter of the Hellenic Astronomical Society. It publishes review papers, news and comments on topics of interest to astronomers, including matters concerning members of the Hellenic Astronomical Society.

Editor: Manolis Plionis

Institute of Astronomy & Astrophysics
National Observatory of Athens,
Pendeli 152 36 Athens, Greece

Tel: +30-210-8109166

Fax: +30-210-8040453

E-mail: mplionis@astro.noa.gr

Editorial Advisors

- **V. Charmandaris** (Crete)
- **D. Hatzidimitriou** (Crete)
- **K. Kokkotas** (Thessaloniki)
- **J.H. Seiradakis** (Thessaloniki)
- **N.K. Stergioulas** (Thessaloniki)
- **K. Tsinganos** (Athens)

Printed by ZITI Publications • www.ziti.gr



Cover photo:

NGC 7822 in Cepheus

Credit & Copyright: Don Goldman

<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap090828.html>

Editorial assistance is needed!

To improve the contents of Hipparchos please provide us with information related to your Institute or with exciting news from your field of research.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Τόμος 2, τεύχος 6 • Σεπτέμβριος 2009

Εκδοτικό σημείωμα του προέδρου 3

ΣΥΝΤΟΜΕΣ ΕΙΔΗΣΕΙΣ

Ελληνική συμμετοχή στην επιστημονική ομάδα της κάμερας SPIRE του διαστημικού τηλεσκοπίου Herschel του ΕΟΔ 5

Ελληνική συμμετοχή στη σχεδιαζόμενη αποστολή PROBA 3 του ΕΟΔ
και ο Στεμματογράφος ASPIICS 6

Ανακάλυψη δίσκου σχηματισμού πλανητών γύρω από διπλό σύστημα αστέρων 7

Έχουμε μέχρι σήμερα ανιχνεύσει το ταχύτερο κοσμικό φορτίο; 8

Παρατηρήσεις Έλληνα αστρονόμου
κοσμούν εξώφυλλο Πανεπιστημιακού συγγράμματος Αστροφυσικής 8

Έχουν τελικά οι Υπερκαινοφανείς τύπου Ia σταθερή απόλυτη λαμπρότητα; 9

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΑΡΘΡΑ

Διαστημική Εξερεύνηση και Ελληνική Συμμετοχή

Ιωάννης Α. Δαγκλής 10

Αναζήτηση Εξωηλιακών Πλανητών

Παναγιώτης Γ. Νιάρχος 13

Κοσμικοί Επιταχυντές

Λουκάς Βλάχος 17

Η Γένεση και ο Κύκλος της Ζωής των Αστέρων

Κανάρης Τσίγκανος 21

Αστρονομία Ακτίνων Χ και Γ: Αντικρίζοντας το Σύμπαν του Einstein

Απόστολος Μαστικιάδης 31

Αστρονομία Βαρυτικών Κυμάτων

Κωνσταντίνος Κόκκοτας 36

Κοσμολογία: η Επιστήμη της Γένεσης & Εξέλιξης του Σύμπαντος

Μανώλης Πλειώνης 42

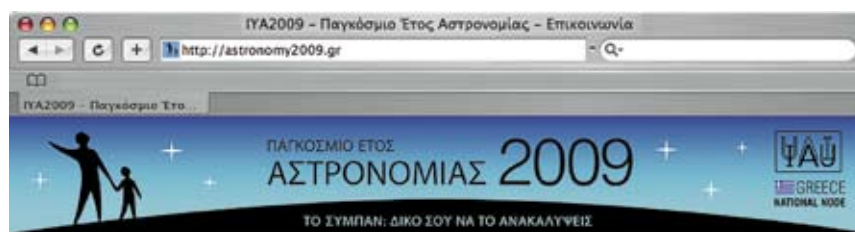
Σύγχρονη Παρατηρησιακή Αστρονομία Ορατού:

τα μεγάλα οπτικά τηλεσκόπια

Δέσποινα Χατζηδημητρίου 47

Η Συνεισφορά των Αρχαίων Ελλήνων στην Αστρονομία

Στράτος Θεοδοσίου 52



Αγαπητά μέλη της Ελληνικής Αστρονομικής Εταιρείας

Ως γνωστόν, το έτος που διανύουμε έχει τη μοναδικότητα του Διεθνούς έτους Αστρονομίας 2009 (ΔΕΑ09), γιορτάζοντας τα 400 χρόνια παρατηρησιακής Αστρονομίας που έχουν παρέλθει από το 1609, τη χρονιά που ο άνθρωπος δια του Γαλιλαίου έστρεψε για πρώτη φορά το τηλεσκόπιο στον ουρανό. Αλλά και το τεύχος του **Ήππαρχου** που έχετε στα χέρια σας είναι πρωτότυπο και μοναδικό, για δύο τουλάχιστον λόγους: αφενός διότι είναι το μόνο τεύχος του περιοδικού της Ελ.Ασ.Ετ. που είναι γραμμένο στην Ελληνική γλώσσα και αφετέρου διότι περιέχει, σχεδόν εξ ολοκλήρου, εκλαϊκευτικά άρθρα Αστρονομίας. Οι δύο αυτές μοναδικότητες είναι βέβαια αλληλένδετες, μιας και ένας από τους διακηρυγμένους στόχους του ΔΕΑ09 είναι να προκαλέσει το ενδιαφέρον, ειδικότερα ανάμεσα στους νέους, για την Αστρονομία και την Επιστήμη γενικότερα, με κεντρικό θέμα «Το Σύμπαν, στη διάθεσή σου να το ανακαλύψεις». Και φυσικά ένας καλός τρόπος για να το επιτύχει αυτό είναι μέσω άρθρων που εκλαϊκεύουν τα επιτεύγματα της επιστήμης και τα φέρνουν, στη μητρική γλώσσα, ακόμη πιο κοντά στο ευρύ κοινό.

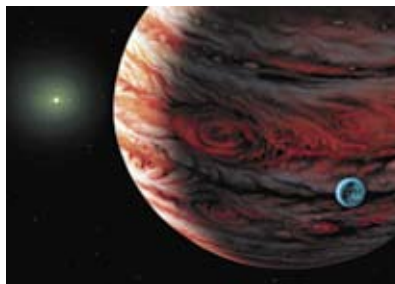


Έτσι λοιπόν, στις επόμενες σελίδες υπάρχουν απαντήσεις σε ερωτήματα όπως: Γιατί δαπανούμε χρόνο, προσπάθεια και χρήμα για την εξερεύνηση του Διαστήματος, και ποια είναι τα πρώ-

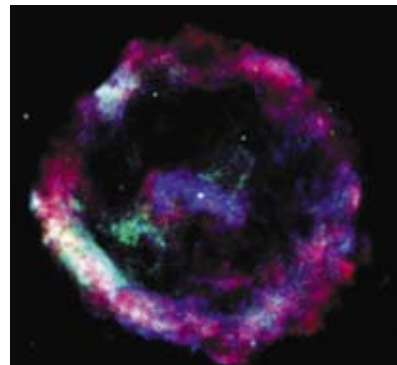


τα δειλά Ελληνικά βήματα στο αχανές Διαστημικό τοπίο, του Ιωάννη Δαγκλή, Διευθυντή του Ινστιτούτου Διαστημικών Εφαρμογών και Τηλεπισκόπησης του ΕΑΑ.

Φεύγοντας από το Ηλιακό σύστημα, το πρώτο ερώτημα που μας έρχεται στο νου, αντικρίζοντας τα εκατοντάδες δισεκατομμύρια αστέρες του γαλαξία μας, πολλοί από τους οποίους είναι παρόμοιοι με τον Ήλιο, είναι αν και αυτοί συνοδεύονται από, ανάλογα του δικού μας, πλανητικά συστήματα και ακόμη αν κατοικούνται από νοή-

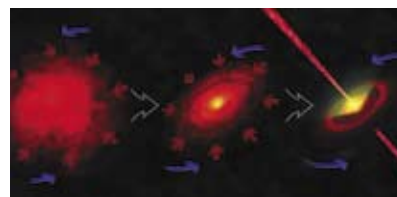


μονα όντα. Ο Παναγιώτης Νιάρχος, Διευθυντής του Τομέα Αστροφυσικής, Αστρονομίας και Μηχανικής του Τμήματος Φυσικής του Παν. Αθηνών επισημαίνει το γεγονός ότι τις τελευταίες δύο δεκαετίες οι επιστήμονες μετέτρεψαν την επιστημονική φαντασία σε πραγματικότητα χάρη στην εξέλιξη των επιστημονικών οργάνων και των μεθόδων παρατήρησης, εντοπίζοντας για πρώτη φορά εξωηλιακούς πλανήτες το 1995, και δημιουργώντας ένα κατάλογο που περιέχει ήδη εκατοντάδες εξωηλιακούς πλανήτες.



Στον περίφημο επιταχυντή του CERN, στον Large Hadron Collider (LHC), οι συγκρούσεις πρωτονίων-πρωτονίων (θα) συμβαίνουν σε ενέργεια 7 TeV ανά δέσμη, δηλ., περί τα 10^{13} eV, κάτι που ωστόσο δεν φαίνεται τεχνικά εύκολα να επιτευχθεί. Το άρθρο του Καθ. του Τμήματος Φυσικής του Παν. Θεσσαλονίκης Λουκά Βλάχου, ασχολείται με το ερώτημα: πώς στη Φύση, στους λεγόμενους κοσμικούς επιταχυντές (υπερκαινοφανείς, γαλαξίες και σμήνη τους, κλπ) οι κοσμικές ακτίνες επιταχύνονται φαινομενικά εύκολα σε ενέργειες εκατομμύρια φορές ψηλότερες από αυτές του LHC, δηλ., μεγαλύτερες από 10^{20} eV;

Επιστρέφοντας πάλι στον Ήλιο μας, σαν αντιπρόσωπο των μυριάδων αστέρων του Γαλαξία μας, αλλά και των άλλων γαλαξιών που πλημμυρίζουν τον κοσμικό χωρόχρονο, αβίαστα τίθεται το ερώτημα: Πώς δημιουργήθηκε ο Ήλιος και οι άλλοι αστέρες δισεκατομμύρια χρόνια πριν; Αν όπως φαίνεται αυτοί προήλθαν από σκοτεινά νεφελώματα τα οποία συρρικνώθηκαν λόγω της δικής τους βαρύτητας, πώς παρακάμφθηκαν οι νόμοι διατήρησης της στροφορμής και της μαγνητικής ροής για να δημιουργηθεί ο τελικός πυκνός πρωτοαστέρας όπου η παραγόμενη θερμότητα στο εσωτερικό τους ανακάιτσε την κατάρρευση; Ποιά θα είναι η μετά θάνατον ζωή του Ήλιου και των αστέρων; Τέλος, πώς κατανοούνται μερικές ευνοϊκές



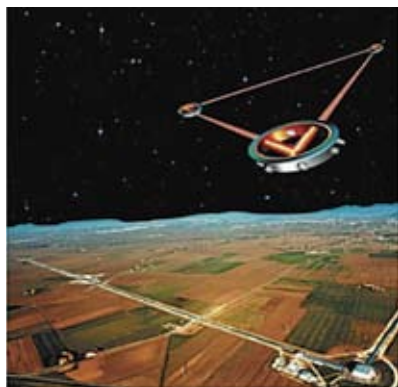
«συμπτώσεις» που φαίνεται να συμβαίνουν κατά τη γένεση και τον κύκλο της ζωής των αστερών. Απαντήσεις σε αυτά τα ερωτήματα δίδονται στο επόμενο άρθρο του γράφοντα το οποίο τιτλοφορείται «Η γένεση και ο κύκλος ζωής των αστερών».

Η δεύτερη ενότητα άρθρων περιστρέφεται γύρω από το μακρινότερο Σύμπαν. Η σύγχρονη τάση είναι οι αστρονόμοι να παρατηρούν το Σύμπαν μέσα από πολλά «παράθυρα», όπως είναι τα ραδιοφωνικά κύματα, το υπέρυθρο, το οπτικό και το υπεριώδες,



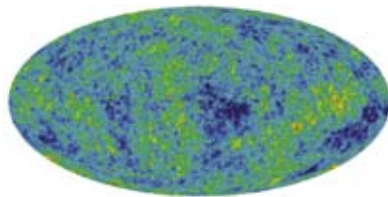
καταλήγοντας στις ακτίνες Χ και γ. Το άρθρο του Αν. Καθηγητή του Τμήματος Φυσικής του Παν. Αθηνών Απόστολου Μαστιχιάδη, αναφέρεται στις παρατηρήσεις του Σύμπαντος στις ακτίνες Χ και γ που αποκαλύπτουν μια νέα μορφή του.

Μερικές από τις πιο «εξωτικές» προβλέψεις του Αϊνστάιν γίνονται πραγματικότητα στις μέρες μας. Η σύγχρονη Αστρονομία επιβεβαιώνει και χρησιμοποιεί με δυναμικό τρόπο τη θεωρία του και μυστηριώδη αστρικά αντικείμενα, όπως οι μελανές οπές και τα υπέρβαρα αστέρια νετρονίων, αποκαλύπτουν τα μυστικά τους, ενώ απειροελάχιστες κυμάνσεις του χωρόχρονου, τα λεγόμενα βαρυτικά κύματα, μεταφέρουν πληροφορίες από τις πιο απομακρυσμένες και «σκοτεινές»



γειτονιές του Σύμπαντος. Στο σχετικό άρθρο του, ο Καθ. του Τμήματος Φυσικής του Παν. Θεσσαλονίκης Κώστας Κόκκοτας αναφέρεται στα μυστικά που κρύβουν οι «κοσμικές άβυσσοι», ή μελανές οπές, στη γειτονιά των οποίων διασταυρώνονται οι θεωρίες του μικρόκοσμου και του μακρόκοσμου και μας περιηγεί στα αστρονομικά φαινόμενα που διαδραματίζονται εκεί. Παράλληλα, παρουσιάζει το νέο παράθυρο παρατήρησης του Σύμπαντος που ανοίγεται μέσα από την ανίχνευση των βαρυτικών κυμάτων.

Στο επόμενο άρθρο με τίτλο Κοσμολογία, η επιστήμη της γένεσης και εξέλιξης του Σύμπαντος, ο Διευθυντής Ερευνών του Ινστιτούτου Αστρονομίας και Αστροφυσικής του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (και εκδότης του Ιππάρχου !) Μανώλης Πλειώνης, παρουσιάζει τα βασικά στοιχεία που



συνθέτουν το βασικό Κοσμολογικό παράδειγμα, αυτό δηλαδή της θεωρίας της Μεγάλης Έκρηξης και τα παρατηρησιακά και πειραματικά δεδομένα που το υποστηρίζουν. Παράλληλα, ανακεφαλαιώνει τις σύγχρονες εξελίξεις στην επιστήμη της Κοσμολογίας, με έμφαση στην επιταχυνόμενη διαστολή του Σύμπαντος, στη «σκοτεινή ύλη» και την «σκοτεινή ενέργεια».

Ο 21^{ος} αιώνας θεωρείται από πολλούς ότι θα αποτελέσει τον χρυσό αιώνα της Αστρονομίας. Υπερσύγχρονα τηλεσκόπια, τόσο επίγεια όσο και δορυφορικά, είτε λειτουργούν ήδη, είτε είναι υπό κατασκευή, είτε σχεδιάζονται. Στο άρθρο της Αν. Καθηγήτριας των Παν. Κρήτης/Αθηνών Δέσποινας Χατζηδημητρίου εξετάζονται τα τεχνολογικά επι-



τεύγματα της σύγχρονης αστρονομίας του ορατού, που ανοίγουν νέα παράθυρα στο Σύμπαν, επιτρέποντάς μας να μελετήσουμε το σχηματισμό των πρώτων γαλαξιών και αστερών μετά τη Μεγάλη Έκρηξη, τη δομή του Σύμπαντος στο οποίο ζούμε, αλλά και να ανακαλύψουμε μακρινούς πλανήτες που μπορεί να μοιάζουν με την Γη.

Η Αστρονομία, παρότι έχει τις ρίζες της σε πανάρχαιες παρατηρήσεις συστηματοποιήθηκε ως επιστήμη από τους αρχαίους Έλληνες φυσικούς φιλοσόφους τον 6^ο π.Χ. αιώνα. Μας έδωσε πλήθος πληροφοριών για πρακτικούς σκοπούς όπως για τον προσανατολισμό μας, για τη ναυσιπλοΐα, για τη γεωργία, για τον υπολογισμό του χρόνου και των εποχών και για τη δημιουργία ημερολογίων, που αποτέλεσαν τη βάση των αστικών οικισμών και του πολιτισμού. Σήμερα, ως Αστροφυσική, μελετά



επισταμένως τη Φυσική του Ήλιου, των αστερών και των άλλων κοσμικών δομών. Οι πληροφορίες της αφορούν τη Μετεωρολογία, τη Γεωλογία, τη Βιολογία, την Ωκεανογραφία, τις τεχνολογίες ενέργειας, την Ιατρική και πολλές άλλες επιστήμες, ενώ η μελέτη των αστερών, μέσω της Διαστημικής, μας βοηθάει να σπάσουμε τα γήινα δεσμά μας. Έτσι λοιπόν, κλείνουμε το παρόν τεύχος με το καθαρά «Ελληνικό» σχετικό άρθρο του Αν. Καθηγητή του Τμ. Φυσικής του Παν. Αθηνών Στράτου Θεοδοσίου, για τη συνεισφορά των αρχαίων Ελλήνων στην Αστρονομία.

Καλή ανάγνωση!

Κανάρης Τσίγκανος, Πρόεδρος Ελ.Ασ.Ετ.

Ελληνική συμμετοχή στην επιστημονική ομάδα της κάμερας SPIRE του διαστημικού τηλεσκοπίου Herschel του ΕΟΔ

Του Μάρκου Τριχά

Η βρετανική κάμερα SPIRE του διαστημικού τηλεσκοπίου Herschel τέθηκε σε λειτουργία για πρώτη φορά στις 18 Μαΐου από ομάδα επιστημόνων στο κέντρο διαστημικών επιχειρήσεων της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Διαστήματος στο Ντάρμστατ της Γερμανίας.

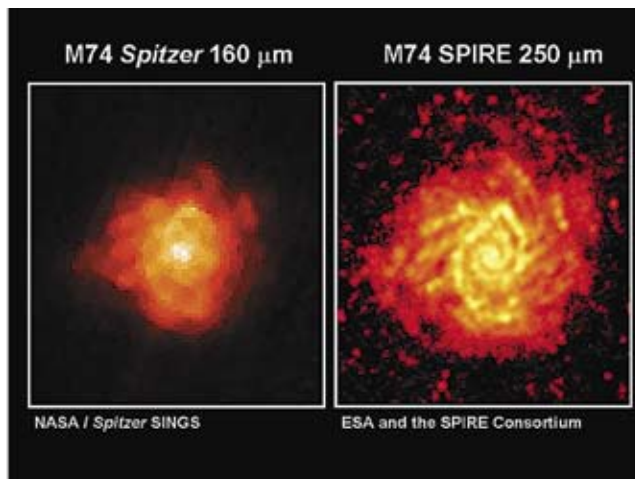
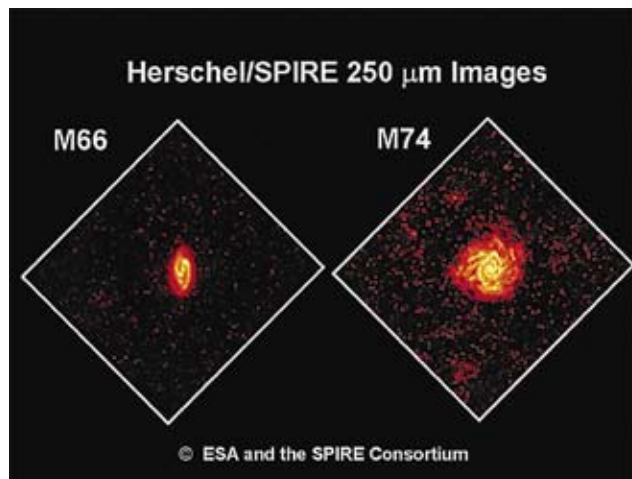
Το SPIRE πήρε τις πρώτες του εικόνες από δύο μακρινούς γαλαξίες στις 24 Ιουνίου, με εκπληκτικά αποτελέσματα. Το φωτόμετρο του SPIRE μπορεί να λαμβάνει ταυτόχρονα εικόνες στα 250, 350 και 500 μm , καθιστώντας για πρώτη φορά εφικτή την παρατήρηση γραμμών εκπομπής από σύννεφα σκόνης σε περιοχές γέννησης αστερών, τόσο στον δίσκο μας όσο και σε άλλους γαλαξίες.

Οι πρώτες εικόνες αναλύθηκαν από την ομάδα του Imperial College (Dr George Bendo, Dr Pierre Charnial, Dr Dave Clements, Dr Markos Trichas) η οποία είναι υπεύθυνη για την εξέλιξη του λογισμικού του SPIRE. Οι εικόνες αυτές απεικονίζουν με μεγάλη ευκρίνεια τις κρύες και γεμάτες σκόνη περιοχές των γαλαξιών M66 και M74 και αποδεικνύουν την ανωτερότητα του SPIRE σε σχέση με όλα τα προηγούμενα διαστημικά τηλεσκόπια, παρόλο που λειτουργεί σε μακρά μήκη κύματος. (εικόνα 2). Καθώς η σκόνη αποτελεί σημαντικό κομμάτι του διαστημικού υλικού, υλικού από το οποίο δημιουργούνται οι αστέρες, οι εικόνες αυτές έχουν ξεχωριστή σημασία καθώς απεικονίζουν τα δομικά υλικά των αστερών και των γαλαξιών.



Εικόνα 1 (πάνω): Τα μέλη της ομάδας SPIRE στο Ντάρμστατ για την εκκίνηση και δοκιμαστική λειτουργία της κάμερας. Από αριστερά προς τα δεξιά Ken King, Bruce Swinyard, Sunil Sidher, Markos Trichas, Tanya Lim, Matt Griffin, Ivan Valtchano.

Εικόνα 2. Κάτω αριστερά απεικονίζονται οι γαλαξίες M66 και M74 όπως τους κατέγραψε ο SPIRE στα 250 μm . Διακρίνονται τα νέφη σκόνης σε περιοχές δημιουργίας νέων αστερών, καθώς επίσης και ο πυρήνας και οι σπείρες των γαλαξιών. Στην κάτω δεξιά εικόνα γίνεται σύγκριση της διακριτικής ικανότητας στα 160 μm μεταξύ του Herschel της ΕΣΑ και του διαστημικού παρατηρητηρίου Spitzer της ΝΑΣΑ. Η διαφορά στην διακριτική ικανότητα οφείλεται στο κατά πολύ μεγαλύτερο μέγεθος του τηλεσκοπίου του Herschel.



Ελληνική συμμετοχή στη σχεδιαζόμενη αποστολή PROBA 3 του ΕΟΔ και ο Στεμματογράφος ASPIICS

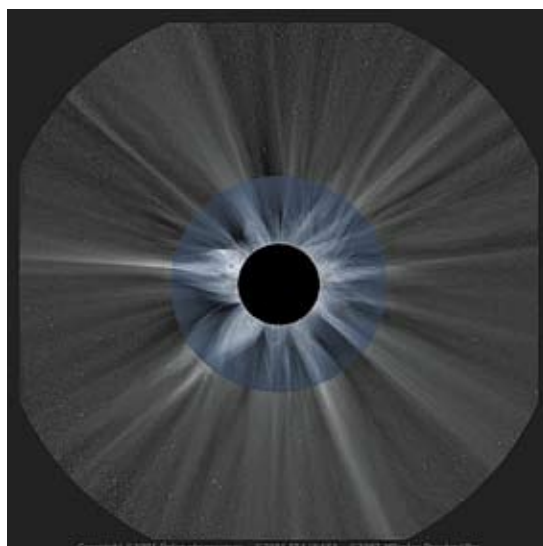
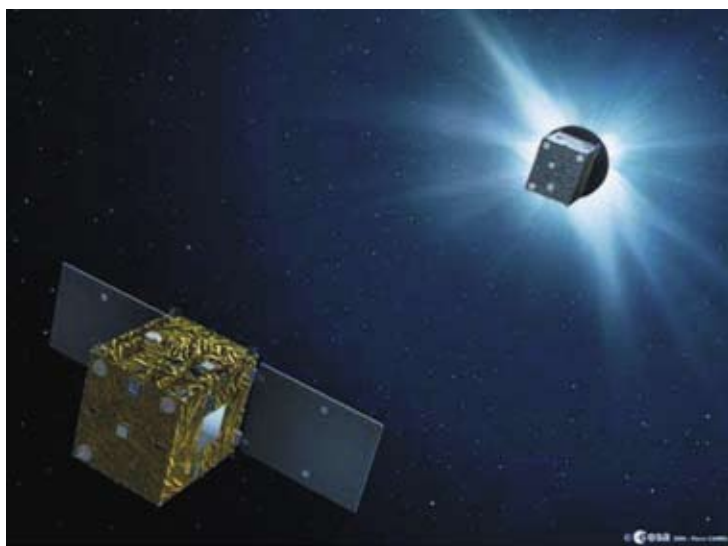
Μεγάλη ερευνητική ομάδα Ευρωπαϊκών Πανεπιστημίων, στην οποία συμμετέχει και ο Τομέας Αστροφυσικής, Αστρονομίας και Μηχανικής του Πανεπιστημίου Αθηνών, έχει ήδη χρηματοδοτηθεί από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (ΕΟΔ, ESA) για την κατασκευή στο εργαστήριο και επίδειξη των δυνατοτήτων ενός προτύπου του Στεμματογράφου ASPIICS (Association de Satellites Pour l'Imagerie et l'Interferometrie de la Couronne Solaire). Ο Στεμματογράφος αυτός, τον οποίο έχει προτείνει Γαλλική ερευνητική ομάδα, θα αποτελεί το μοναδικό επιστημονικό όργανο της διαστημικής αποστολής PROBA 3 (**PR**oject for **O**n-board **A**utonomy) του ΕΟΔ. Η πρώτη φάση του προγράμματος κατασκευής του ASPIICS αρχίζει στη Μασσαλία τον Σεπτέμβριο του 2009. Η δεύτερη φάση του προγράμματος θα αρχίσει το 2010 με την ανάθεση της κατασκευής του Στεμματογράφου από τον ΕΟΔ στην επιλεγμένη ομάδα από τις σχετικές προτάσεις που έχουν υποβληθεί. Σε πρόσφατα υπο-

βληθείσα σχετική πρόταση 10 Ευρωπαϊκών ερευνητικών ομάδων, μιας Αμερικανικής και μιας Ρωσικής, η Ελληνική ομάδα (στην οποία συμμετέχει και το τμήμα Πληροφορικής/Τηλεπικοινωνιών του Παν. Αθηνών σε συνεργασία με την Ελληνική Βιομηχανία) έχει αναλάβει την κατασκευή της κεντρικής μονάδας μνήμης, ελέγχου και των άλλων ηλεκτρονικών του οργάνου. Στην Ελληνική επιστημονική ομάδα του ASPIICS συμμετέχουν ερευνητές του Παν. Αθηνών, του Ινστιτούτου Διαστημικών Εφαρμογών και Τηλεπισκόπησης του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, των Πανεπιστημίων Θεσσαλονίκης και Ιωαννίνων και του Κέντρου Ερευνών Αστρονομίας και Εφαρμοσμένων Μαθηματικών της Ακαδημίας Αθηνών καθώς και διακεκριμένοι Έλληνες ερευνητές ιδρυμάτων του εξωτερικού.

Η πειραματική διαστημική αποστολή PROBA 3 στοχεύει στο να δοκιμάσει τις νέες τεχνικές και τεχνολογίες της πτήσης διαστημοπλοίων σε σχηματισμό (Formation Flying, FF). Παρόμοιες συστοιχίες διαστημοπλοίων θα χρησιμοποι-

ηθούν αργότερα σε άλλες πιο σύνθετες αποστολές, όπως η DARWIN που στόχο έχει την ανακάλυψη πλανητών γύρω από άλλους αστέρες με ένα αριθμό οπτικών τηλεσκοπίων τα οποία θα βρίσκονται σε διαστημόπλοια σε FF ή, η αποστολή LISA για την ανίχνευση βαρυτικών κυμάτων από 3 διαστημόπλοια σε FF που επικοινωνούν με δέσμες Laser.

Τα δίδυμα διαστημόπλοια του PROBA 3 προγραμματίζεται να τεθούν το 2013 σε ελλειπτική τροχιά μεγάλης εκκεντρότητας, με περίγειο 800 km και απόγειο 71200 km, με περίοδο περιφοράς γύρω από τη Γη περί τη μια ημέρα. Στην τροχιά τους θα υπάρχουν διαστήματα κατά τα οποία τα 2 διαστημόπλοια θα είναι ευθυγραμμισμένα μεταξύ τους και με τον Ήλιο, οπότε και θα είναι δυνατές οι στεμματογραφικές παρατηρήσεις. Περί τα 8 Gbits δεδομένων θα λαμβάνονται κάθε μέρα παρατήρησης και θα μεταφέρονται στη Γη κατά τη διέλευση των διαστημοπλοίων από το περίγειο της τροχιάς τους.



Εικόνα 1α (αριστερά): Καλλιτεχνική απεικόνιση της διάταξης των 2 διαστημοπλοίων του PROBA 3, τα οποία σε τροχιά με απόγειο περίπου 10 ακτίων της Γης και απόσταση αναμεταξύ τους 150 μέτρων θα σχηματίζουν ένα γιγαντιαίο Στεμματογράφο.

Εικόνα 1β (δεξιά): Σύνθετη εικόνα του Στέμματος στο λευκό φως. Το εσωτερικό τμήμα της εικόνας (1.0 – 2.3 ηλιακές ακτίνες) προέρχεται από την ηλιακή έκλειψη της 21^{ης} Ιουνίου 2001. Το εξωτερικό τμήμα (2.3 – 6 ηλιακές ακτίνες) προέρχεται από το LASCO C2. Το ASPIICS με παρατηρήσεις του συνολικού Στέμματος από 1.04 – 3 ηλιακές ακτίνες, θα μας δώσει τη δυνατότητα ταυτόχρονης παρατήρησης των διάφορων δομών από το εσωτερικό μέχρι τα εξωτερικά μέρη του Στέμματος.

Από επιστημονική σκοπιά, ο Στεμματογράφος που θα τοποθετηθεί στο PROBA 3 στοχεύει στο να παρατηρήσει το Ηλιακό Στέμμα σε απόσταση (1.03 – 3) Ηλιακών ακτίνων από το ηλιακό κέντρο με διακριτική ικανότητα εφάμιλλη αυτής που παρατηρούμε το Στέμμα από τη Γη κατά τη διάρκεια των ολικών Ηλιακών εκλείψεων. Αυτές όμως συμβαίνουν περίπου μια φορά το χρόνο και διαρκούν λίγο, συνήθως περί τα 3 λεπτά. Ο συγκεκριμένος Στεμματογράφος ASIICS θα είναι ένας κλασικός Στεμματογράφος λευκού φωτός όπου θα δημιουργείται τεχνητή έκλειψη της Ηλιακής φωτόσφαιρας με την παρεμβολή ενός δίσκου που θα καλύπτει τη φωτόσφαιρα (Στεμματογράφος Lyot). Ο νεωτερισμός όμως που εισάγει ο ASIICS έγκειται στο ότι ο δίσκος που θα προκαλεί την έκλειψη θα ευρίσκεται στο πρώτο διαστημόπλοιο που θα είναι στην ευθεία του σχηματισμού προς τον Ήλιο, ενώ σε απόσταση 150 μέτρων πίσω από

το πρώτο αυτό διαστημόπλοιο και στη δημιουργούμενη σκιά του Ήλιου θα ευρίσκεται το δεύτερο διαστημόπλοιο με το τηλεσκόπιο που θα παρατηρεί το Στέμμα. Η μεγάλη απόσταση των 150 μέτρων επιτρέπει την παρατήρηση του Στέμματος μέχρι τη βάση του, ελαχιστοποιώντας το σκεδαζόμενο φως της φωτόσφαιρας και φαινόμενα περιθλασης που προκαλεί ο παρεμβαλλόμενος δίσκος. Το Στέμμα έτσι θα παρατηρείται σε πολωμένο και μη φως και θα επιτρέπει φασματοσκοπικές μετρήσεις διαφόρων φασματικών γραμμών για διαγνωστικές μετρήσεις του στεμματικού πλάσματος, ανιχνεύοντας και δομές χαμηλής αντίθεσης.

Οι κύριοι επιστημονικοί στόχοι του προγράμματος είναι η κατανόηση αφενός των φυσικών διεργασιών που συμβαίνουν στο ήρεμο Στέμμα και αφετέρου των φυσικών διεργασιών που οδηγούν στις ισχυρές Στεμματικές Εκτινάξεις Μάζας (Coronal Mass Ejections) και συνακόλου-

θα στη δημιουργία του άστατου Διαστημικού καιρού, με όλες τις συνέπειές του για τη Γη και το Διάστημα. Συγκεκριμένες ερωτήσεις, στην απάντηση των οποίων θα βοηθήσουν οι παρατηρήσεις του ASIICS, είναι: Ποια είναι η δομή της ηλιακής ατμόσφαιρας σε πολύ μικρή κλίμακα; Πώς θερμαίνεται το ηλιακό Στέμμα και ποιος είναι ο ρόλος των κυμάτων σε αυτό; Από που πηγάζει ο Ηλιακός Άνεμος; Ποιες φυσικές διαδικασίες συνεισφέρουν στην επιτάχυνση του αργού και ποιες του γρήγορου ηλιακού ανέμου; Από ποιες δομές του χαμηλού Στέμματος σχηματίζονται, επιταχύνονται και τελικά εκρήγνυνται οι Στεμματικές Εκτινάξεις Μάζας; Ποια η σχέση των ΣΕΜ με άλλες ενεργές περιοχές του Ήλιου, όπως οι Εκλάμψεις και οι Προεξοχές; Πώς οι Στεμματικές Εκτινάξεις Μάζας δημιουργούν ισχυρά ωστικά κύματα στο χαμηλό Στέμμα; κ.ά.

του Κανάρη Τσίγκανου

Ανακάλυψη δίσκου σχηματισμού πλανητών γύρω από διπλό σύστημα αστέρων

Τον Ιούνιο του 2009 ανακοινώθηκε ότι μια σειρά από εικόνες που πάρθηκαν από το Smithsonian's Submillimeter Array (SMA) δείχνουν καθαρά την ύπαρξη ενός μοριακού δίσκου γύρω από το νεαρό διπλό σύστημα V4046 Sagittarii. Οι εικόνες του SMA παρουσιάζουν ένα ζωντανό στιγμιότυπο της διαδικασίας σχηματισμού γιγαντιαίων πλανητών, κομητών και σωμάτων σαν τον Πλούτωνα. Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν ότι τέτοια σώματα μπορούν εξίσου εύκολα να σχηματιστούν γύρω από διπλά συστήματα αστέρων όπως και γύρω από μεμονωμένους αστέρες. Σύμφωνα με τον David Wilner από το CfA, που συμμετέχει στην έρευνα αυτή, «Η ανακάλυψη αυτή αποτελεί ισχυρή ένδειξη ότι πλανήτες μπορούν να δημιουργούνται γύρω από διπλά συστήματα αστέρων, πράγμα το οποίο διευρύνει τις περιοχές όπου μπορούμε να αναζητήσουμε εξωηλιακούς πλανήτες. Κάπου μέσα στο γαλαξία μας, ένας άλλος κόσμος ενδεχομένως να απολαμβάνει διπλές ανατολές (Ήλιου) και διπλά ηλιοβασιλέματα. Πιστεύεται ότι το σύστημα V4046 Sagittarii παρέχει ένα από τα πιο ξεκάθαρα παραδείγματα ενός Κεπεριανού δίσκου σχηματισμού πλανητών γύρω από ένα νεαρό διπλό σύστημα με ηλιακού τύπου αστέρες».

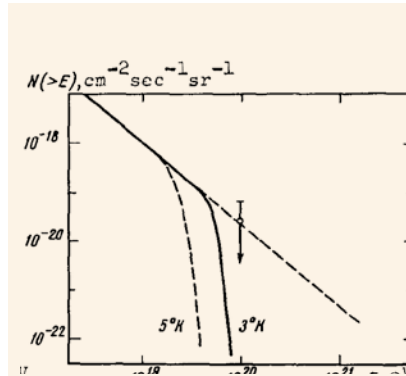


Καλλιτεχνική απεικόνιση του διπλού συστήματος αστέρων με τον πρωτοπλανητικό τους δίσκο. (Credit: David A. Aguilar (CfA))

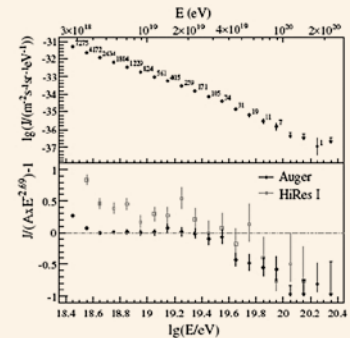
Επιμέλεια Παναγιώτη Νιάρχου

Έχουμε μέχρι σήμερα ανιχνεύσει το ταχύτερο κοσμικό φορτίο;

Πρόσφατα, στο παγκόσμιο πρωτάθλημα στίβου στο Βερολίνο, ο Usain Bolt κατάφερε να βελτιώσει τα δικά του συναρπαστικά ρεκόρ ταχύτητας στους δρόμους των 100 και 200 μέτρων, και έφερε πάλι στην επιφάνεια ένα σοβαρό ερώτημα για τους ειδικούς στον αθλητισμό: Ποια είναι τα ανώτερα όρια ταχύτητας που μπορεί να αναπτύξει ο άνθρωπος; Ένα παρόμοιο ερώτημα έχει τεθεί και για τα φορτία που φτάνουν από το διάστημα στην ατμόσφαιρα της Γης (τις περίφημες κοσμικές ακτίνες). Υπάρχει ανώτερο όριο στην ενέργεια του φάσματος των κοσμικών ακτίνων ή ο πήχης της ενέργειας θα ανεβαίνει συνεχώς προκαλώντας πονοκέφαλο στους ερευνητές που προσπαθούν να κατανοήσουν τον προορισμό τους; Το 1966, λίγο μετά την ανακάλυψη της ακτινοβολίας υποβάθρου από τους Penzias και Wilson¹, δύο ερευνητικές ομάδες² υποστήριξαν ταυτόχρονα ότι τα φορτία με ενέργειες μεγαλύτερες από 5×10^{19} eV αλληλεπιδρούν με τα φωτόνια της ακτινοβολίας υποβάθρου και μετατρέπονται σε σωματίδια π με πολύ χαμηλότερη ενέργεια. Η αλληλεπίδραση θα συνεχίζεται μέχρι τα φορτία των κοσμικών ακτίνων να αποκτήσουν ενέργεια μικρότερη από 5×10^{19} eV. Η μέση ελεύθερα διαδρομή φορτίων ενέργειας μεγαλύτερης του 5×10^{19} eV με τα φωτόνια της ακτινοβολίας υποβάθρου είναι 50 Mpc. Είναι μάλλον απίθανο να υπάρχουν πηγές φορτίων με τέτοιες ενέργειες στην «κοσμική» γειτονιά μας άρα το φάσμα των κοσμικών



Εικόνα 1α (αριστερά): Η θεωρητική πρόβλεψη του 1966 για την απότομη ελάττωση της ροής των κοσμικών ακτίνων. **Εικόνα 1β** (δεξιά): Η πρόσφατη παρατήρηση του τηλεσκοπίου Pierre Auger το 2008 που την επιβεβαιώνει!



ακτίνων θα πρέπει να δείχνει μία απότομη ελάττωση για ενέργειες πάνω από τα 5×10^{19} eV (βλέπε πρόβλεψη στην Εικόνα 1α). Πέρασαν από τότε σχεδόν 45 χρόνια και πρόσφατα μια γιγάντια ερευνητική προσπάθεια που στηρίζεται στο τηλεσκόπιο Pierre Auger³ της Αργεντινής ανακοίνωσε αποτελέσματα που δείχνουν με σαφήνεια ότι η πρόβλεψη ήταν σωστή (βλέπε Εικόνα 1β)!

Ερμηνεύοντας ένα μυστήριο, εμφανίζονται όμως μια σειρά από νέα: Ποια είναι η πηγή των φορτίων με τόσο μεγάλη ενέργεια (10^{16} - 10^{20} eV); Ποιος είναι ο μηχανισμός επιτάχυνσής τους; Είναι δυνατόν κάποια φορτία που δεν αλληλεπιδρούν με τα φωτόνια της ακτινοβολίας υποβάθρου να έρθουν από τεράστιες αποστάσεις και

να δημιουργήσουν φορτία με τρομακτικές ενέργειες στην «κοσμική» γειτονιά μας; Ποιος είναι ο ρόλος της σκοτεινής ύλης σε όλα αυτά; Ένα είναι σίγουρο: Βρισκόμαστε στην αρχή μιας από τις πιο παραγωγικές εποχές για την αστροφυσική των υψηλών ενεργειών.

Σημειώσεις

1. A.A. Penzias and R.W. Wilson, ApJ, 142, 420 (1965)
2. K. Greisen, PRL, 16, 748 (1966), G.T. Zatsepin and V.A. Kuz'min, JEPT Lett., 4, 78 (1966)
3. Abraham et al., PRL, 101, 61101, 2008

του Λουκά Βλάχου

Παρατηρήσεις Έλληνα αστρονόμου κοσμούν εξώφυλλο Πανεπιστημιακού συγγράμματος Αστροφυσικής

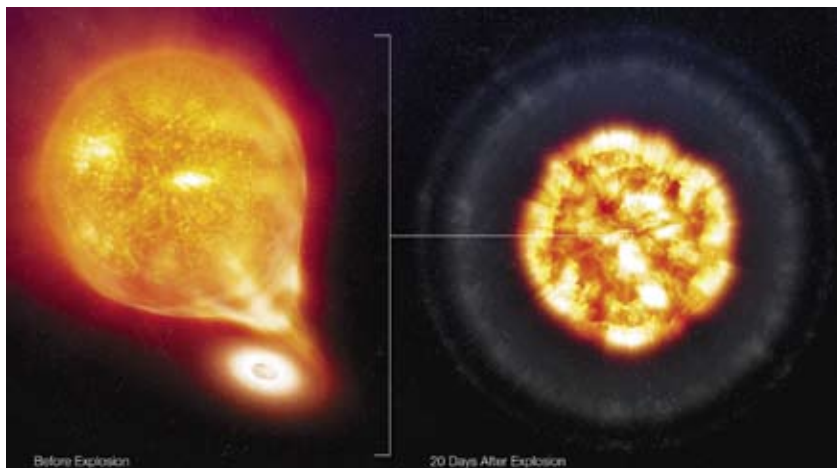
Οι διαλέξεις σχετικά με την δημιουργία και εξέλιξη των αστέρων, που επί χρόνια παραδίδονταν από τους καθηγητές K.S. de Boer και W. Seggewiss στο μάθημα αστρονομίας στο Πανεπιστήμιο της Βόννης, πρόσφατα κυκλοφόρησαν ως σύγγραμμα από τον εκδοτικό οίκο EDP Sciences. Το εξώφυλλο του συγγράμματος, με τίτλο “Stars and Stellar Evolution”, διακοσμείται με εικόνα από τις παρατηρήσεις του Έλληνα αστρονόμου Δρ. Δημητρίου Γουλιερμή.

Οι παρατηρήσεις αυτές του νεαρού αστρικού σμήνους LH 95 στο Μεγάλο Νέφος του Μαγγελάνου πραγματοποιήθηκαν με την κάμερα Advanced Camera for Surveys του διαστημικού τηλεσκοπίου Hubble και αποκάλυψαν την πληθώρα αστέρων με μάζα μικρότερη του Ήλιου, που πρόσφατα δημιουργούνται σε νεαρά αστρικά συστήματα στο γειτονικό μας γαλαξία.

Έχουν τελικά οι Υπερκαινοφανείς τύπου Ia σταθερή απόλυτη λαμπρότητα;

Η παραδοχή στην οποία έχει βασιστεί η ανακάλυψη ότι το Σύμπαν διαστέλλεται με επιταχυνόμενο ρυθμό, είναι ότι οι υπερκαινοφανείς τύπου Ia αποτελούν “σταθερούς λαμπτήρες” (standard candles), ότι έχουν δηλαδή την ίδια απόλυτη λαμπρότητα ανεξάρτητα από την απόσταση τους ή το περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται. Χρησιμοποιώντας λοιπόν αυτούς τους υπερκαινοφανείς ως ικνηλάτες της κοσμικής διαστολής, λόγω του ότι είναι πολύ λαμπροί και επομένως φαίνονται ακόμα και σε τεράστιες αποστάσεις από την Γη, έχει βρεθεί ότι για να ερμηνευθεί η επιταχυνόμενη διαστολή είναι απαραίτητο να υποθέσουμε την ύπαρξη μιας ενέργειας (της λεγόμενης “σκοτεινής ενέργειας”) που έχει τα χαρακτηριστικά της ενέργειας του κενού (στην κβαντική θεωρία πεδίου), δηλαδή δρα απωστικά υπερνικώντας τις ελκτικές δυνάμεις της Συμπαντικής ιδιο-βαρύτητας, αλλά με τιμή κατά πολλές τάξεις μεγέθους μικρότερη από τις θεωρητικές προβλέψεις.

Οι παραπάνω ερμηνείες βασίζονται άρρηκτα στην υπόθεση ότι οι υπερκαινοφανείς τύπου Ia είναι “σταθεροί λαμπτήρες”. Πρόσφατα όμως τέθηκε σε αμφισβήτηση αυτή η παραδοχή (που βασίζεται σε φαινομενολογικά δεδομένα και όχι σε κάποια απολύτως κατανοητή φυσική διεργασία) με ένα πολύ ενδιαφέρον άρθρο στο εγκυρότατο περιοδικό Nature από τους Kasen, Ropke & Woosley των



Καλλιτεχνική απεικόνιση της έκρηξης ενός υπερκαινοφανούς τύπου Ia (Credit ESA). Στην αριστερή εικόνα φαίνονται ο λευκός νάνος πριν την έκρηξη (κάτω δεξιά) και ο συνοδός αστέρας (πάνω αριστερά) από τον οποίο ο λευκός νάνος απορροφά ύλη, που τελικά τον καθιστά ασταθή και εκρήγνυται (δεξιά εικόνα). Η συμμετρικότητα της έκρηξης αλλά και των διαδικασιών διάδοσης ακτινοβολίας αμφισβητήθηκαν στο πρόσφατο άρθρο του περιοδικού Nature.

Παν/μιων της California-Santa Cruz και του Max-Planck οι οποίοι βρήκαν, χρησιμοποιώντας μαγνητο-υδροδυναμικές προσομοιώσεις σε τεράστιους παράλληλους υπερ-υπολογιστές, ότι η διεργασία της εκκίνησης και ολοκλήρωση της έκρηξης καθώς και της διάδοσης της ακτινοβολίας δημιουργεί ασυμμετρίες οι οποίες επηρεάζουν την μορφή της καμπύλης λαμπρότητας των υπερκαινοφανών τύπου Ia, γεγονός που τελικά μπορεί

να οδηγήσει σε υπερεκτίμηση της απόστασής τους μέχρι και 2%. Αυτό, αν και δεν ανατρέπει την επιταχυνόμενη διαστολή, μπορεί όμως να έχει σημαντικές κοσμολογικές επιπτώσεις που πρέπει να εκτιμηθούν και να παρθούν υπ’ όψιν στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων σχετικά με την “σκοτεινή” ενέργεια.

του Μανώλη Πλειώνη

Σύμφωνα με τους συγγραφείς του συγγράμματος, η εικόνα του LH 95 επιλέχθηκε ως εξώφυλλο λόγω του εξαιρετικού της πλούτου σε νεαρούς αστέρες.

Η εικόνα αυτή έχει επίσης παρουσιαστεί σε διάφορα δελτία τύπου, όπως από την Ευρωπαϊκή ιστοσελίδα του Hubble

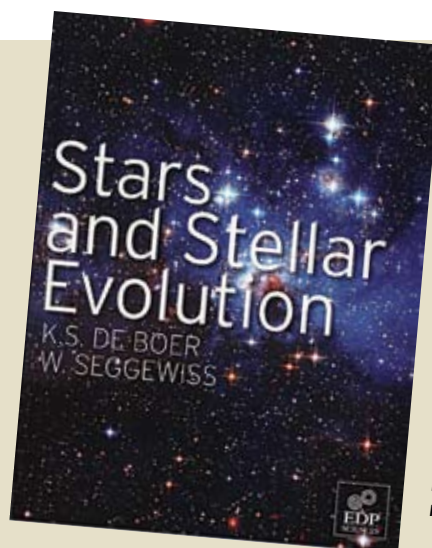
(<http://www.spacetelescope.org/news/html/heic0607.html>)

και από την ιστοσελίδα Hubble Heritage

(<http://heritage.stsci.edu/2006/55/index.html>).

Πέραν της ομορφιάς τους οι παρατηρήσεις του Δρ. Γουλιερμή οδήγησαν σε πρωτότυπα επιστημονικά αποτελέσματα, τα οποία ανακοινώθηκαν σε δύο επιστημονικά άρθρα στην έγκυρη επιθεώρηση *The Astrophysical Journal*.

Επιμέλεια Μανώλης Πλειώνης



Το εξώφυλλο του επιστημονικού συγγράμματος των Boer και Seggewiss.

Διαστημική Εξερεύνηση και Ελληνική Συμμετοχή

Ιωάννης Α. Δαγκλής

Ινστιτούτο Διαστημικών Εφαρμογών & Τηλεπισκόπησης, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών

Τον 20^ο αιώνα χαρακτήρισε, ίσως περισσότερο από οτιδήποτε άλλο, η έξοδος της ανθρωπότητας από τα φυσικά της όρια, από τα όρια του πλανήτη Γη. Αρχικά μόνο με μηχανικές κατασκευές ως «εκπροσώπους» και τελικά με αστροναύτες/κοσμοναύτες. Ο άθλος αυτός της διαφυγής από τα «δεσμά» του πλανήτη μας πραγματοποιήθηκε χάρη στις μακροχρόνιες και επίμονες προσπάθειες επιστημόνων και τεχνικών και βεβαίως χάρη στην διάθεση των απαραίτητων υλικών και οικονομικών πόρων.

Ενίοτε τίθεται από το κοινό το ερώτημα «Γιατί να δαπανούμε χρόνο, προσπάθεια και χρήμα για την εξερεύνηση του διαστήματος, όταν υπάρχουν τόσα καθημερινά προβλήματα στη Γη που χρειάζονται αυτούς τους πόρους;». Η απάντηση σ' αυτό το ερώτημα είναι (τουλάχιστον) τριπλή.

- Πρώτον, επειδή από τη φύση μας είμαστε περίεργοι. Οποιαδήποτε ενέργεια που ξεπερνά την αυτοσυντήρηση, οφείλεται καταρχήν στην πνευματική ανησυχία του ανθρώπου. Αν δεν υπήρχε αυτή η ανησυχία, ο άνθρωπος θα βρισκόταν ακόμη στο στάδιο του κυνηγού και τροφουσλλέκτη.
- Δεύτερον, επειδή το διάστημα είναι ένα πρώτης τάξεως παρατηρητήριο για την κατανόηση και προστασία του πλανήτη μας. Τα περισσότερα παγκόσμια φαινόμενα κλιματικής αλλαγής ή αλλοίωσης του φυσικού περιβάλλοντος διαπιστώθηκαν από δορυφορικές μετρήσεις. Το πιο γνωστό παράδειγμα είναι η μείωση του στρώματος όζοντος –η λεγόμενη τρύπα του όζοντος.
- Τρίτον, και εδώ θα σταθούμε περισσότερο, επειδή υπάρχει ανάγκη επέκτασης του ζωτικού χώρου της ανθρωπότητας.

Εύλογη είναι η επόμενη απορία: μα πρέπει να επεκτείνουμε κι άλλο τον ζωτικό μας χώρο; Δεν μας αρκεί η Γη; Δυστυχώς δεν μας αρκεί – για τρεις σημαντικούς λόγους.

1. Υπερπληθυσμός και εξάντληση φυσικών πόρων

Αν τα επιτεύγματα της ιατρικής συνεχιστούν, θα έχουμε δύο βαρυσημάντα αποτελέσματα: μείωση της θνησιμότητας και αύξηση του προσδόκιμου ορίου ζωής. Αυτά τα ομολογουμένως θετικά αποτελέσματα θα οδηγούν σε ολοένα και μεγαλύτερο παγκόσμιο πληθυσμό, ο οποίος θα αντιμετωπίσει προβλήματα χώρου κατοικίας και διατροφής. Ας σημειώσουμε ότι η επέκταση των οικισμών/πόλεων γίνεται εις βάρος των εκτάσεων που είναι διαθέσιμες για την παραγωγή τροφής. Συνεπώς η πληθυσμιακή αύξηση επηρεάζει με διπλό τρόπο το επισιτιστικό πρόβλημα: αυξάνοντας τις ανάγκες και μειώνοντας τις διαθέσιμες καλλιεργήσιμες εκτάσεις.

Αλλά ακόμη κι αν η παραγωγή τροφής συνεχίσει να αυξάνεται και αυτή με νέες τεχνολογίες και καταφέρει να ανταπεξέλθει στις ανάγκες του αυξανόμενου πληθυσμού, οι υπόλοιποι φυσικοί πόροι που είναι απαραίτητοι για τον πολιτισμό μας (ενέργεια και, κυρίως, οι –μη ανανεώσιμες– πρώτες ύλες) θα είναι μάλλον απίθανο να συνεχίσουν να επαρκούν.

Ως εκ τούτου η ανθρωπότητα θα αναγκαστεί να αποικίσει άλλους πλανήτες, όπως ακριβώς στο παρελθόν αποίκισε άλλες περιοχές της Γης. Ας θυμηθούμε τον αποικισμό της Μικράς Ασίας, της Δυτικής Μεσογείου και της νότιας Ιταλίας από τους αρχαίους Έλληνες μέχρι τον αποικισμό –κατάκτηση του Νέου Κόσμου (Αμερική, Αυστραλία) από τους Ευρωπαίους.

Μάλιστα η περίπτωση της Αυστραλίας μπορεί να θεωρηθεί παράδειγμα επιτυχημένης μετατροπής ενός άγονου και αφιλόξενου κόσμου σε τόπο βιώσιμης ανάπτυξης. Ενώ στην Αυστραλία δεν υπήρχαν ούτε ενδημικά φυτά κατάλληλα για γεωργία ούτε ζώα που θα μπορούσαν να γίνουν οικόσιτα και κατά συνέπεια η ήπειρος αυτή δεν μπορούσε να συντηρήσει πολυάριθμες κοινωνίες, η κατάσταση άλλαξε με την εισαγωγή φυτών και ζώων από την Ευρώπη. Για μια διεξοδική παρουσίαση του θέματος πα-

ραπέμω στο εξαιρετικό βιβλίο «Όπλα, μικρόβια και ατσάλι» του βιοφυσικού Τζάρνεντ Ντάιμοντ.

Το διαστημικό ανάλογο της Αυστραλίας είναι προς το παρόν ο Άρης, που αν και άγονος και αφιλόξενος, έχει το δυναμικό να καταστεί κατοικήσιμος μέσω της μακρόχρονης και πολύπλοκης διαδικασίας της γεωπλασίας.

2. Κίνδυνος καταστροφής του πολιτισμού μας από αστεροειδή, κομήτη ή από εμάς τους ίδιους

Ο δεύτερος λόγος επέκτασης του ζωτικού μας χώρου είναι ο κίνδυνος καταστροφής του πολιτισμού μας από φυσικά ή ανθρωπογενή αίτια. Τα ανθρωπογενή αίτια είναι τα όπλα μαζικής καταστροφής που μπορούν να τινάξουν τα πάντα στον αέρα, αλλά και η αλλοίωση του περιβάλλοντος και του κλίματος από τις ανθρώπινες παρεμβάσεις και την κατάχρηση φυσικών πόρων.

Το κυριότερο φυσικό αίτιο μείζονος καταστροφής είναι η πρόσκρουση μεγάλου αστεροειδή ή κομήτη στη Γη. «Μεγάλος» σημαίνει διάμετρο μερικών χιλιομέτρων. Μια πρόσκρουση τέτοιου μεγέθους εκτιμάται ότι συμβαίνει ανά 300 χιλιάδες χρόνια περίπου, και βρίσκεται στο κατώφλι της παγκόσμιας καταστροφής. Αν και 300 χιλιάδες χρόνια είναι για τα ανθρώπινα μέτρα ομολογουμένως πολλά, πρόκειται απλώς για μια ενδεικτική χρονική κλίμακα, και φυσικά κανείς δεν γνωρίζει πότε «τελειώνουν»!

3. Η έσχατη καταστροφή

Τέλος, η τρίτη και έσχατη αιτία καταστροφής και κατά συνέπεια λόγος επέκτασης του ζωτικού μας χώρου είναι η μετατροπή του Ήλιου σε κόκκινο γίγαντα, που λόγω διαστολής θα καταπιεί τη Γη και τους υπόλοιπους πλανήτες του. Αυτό θα συμβεί σε μερικά δισεκατομμύρια χρόνια, αλλά θα συμβεί με βεβαιότητα, ακόμη και αν δεν έχουν συμβεί τα δύο προηγούμενα.

Είμαστε λοιπόν αναγκασμένοι να αναζητήσουμε και άλλο σπίτι στο σύμπαν. Ακόμη λοιπόν και αν δεν μας γοήτευε η εξερεύνηση του αγνώστου, θα έπρεπε και μόνο για πρακτικούς λόγους να συνεχίσουμε να εξερευνούμε το διάστημα ως παρακαταθήκη για τους απογόνους μας.

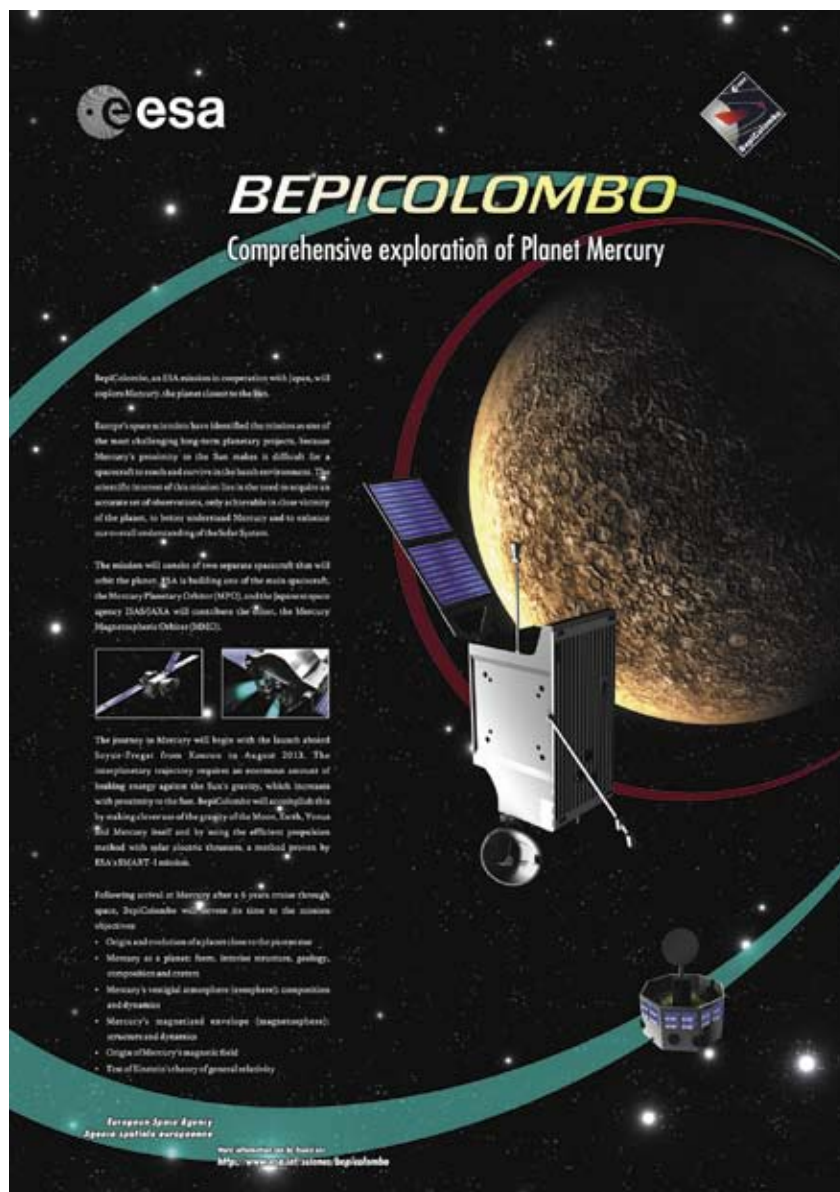
Η εξερεύνηση του διαστήματος και η επέκταση της ανθρωπότητας συνδέονται πάντα και με την αναζήτηση ζωής, και μάλιστα νοήμονος ζωής, σε άλλους πλανήτες. Κλείνοντας το άρθρο θα ήθελα να σχολιάσω πως οι προσδοκίες «συνάντησης» με άλλα νοήμονα όντα είναι μάλλον υπερβολικές. Το σύμπαν είναι αχανές και είναι πολύ πιθανό δύο κόσμοι να «προσπεράσουν» ο ένας τον άλλον επειδή δεν ταυτίζονται τα επίπεδα του τεχνολογικού τους πολιτισμού.

Αλλά ακόμη κι αν υποθέσουμε ότι έρχεται η μέρα που αντικρίζουμε κάποιους εξωγήινους, θεωρώ εξαιρετικά απίθανη τη δυνατότητα επικοινωνίας. Ζούμε χιλιάδες χρόνια δίπλα σε νοήμονα όντα στον δικό μας πλανήτη (εννοώ τα ζώα, άγρια και εξημερωμένα) και η επικοινωνία μας μαζί τους παραμένει από περιορισμένη ως ανύπαρκτη. Αλλά ακόμη και οι άνθρωποι διαφορετικών φυλών δυσκολεύτηκαν πολύ να επικοινωνήσουν και σε πολλές περιπτώσεις στην ιστορία αλληλοεξοντώθηκαν (και δυστυχώς αλληλοεξοντώνονται). Εκτιμώ ότι η ανθρωπότητα είναι ακόμη ανώριμη και ανέτοιμη για συνάντηση με άλλες μορφές νοήμονος ζωής.

Αυτό δεν σημαίνει ότι πρέπει να κλειστούμε στο καβούκι μας και να αποστρέψουμε το βλέμμα μας από τον ουρανό. Το έσχατο ταξίδι της ανθρωπότητας έξω από τα όρια της γήινης ατμόσφαιρας είναι δύσκολο και θα χρειαστεί προσπάθειες αιώνων για να επιτευχθεί.

Προς το παρόν η διαστημική εξερεύνηση επιτελείται κυρίως χάρη σε ρομποτικές διαστημικές αποστολές «γνωριμίας» με τα σώματα του ηλιακού μας συστήματος: το ένα και μοναδικό αστέρι, τους οκτώ πλανήτες με τους δορυφόρους τους και τα άλλα μικρότερα, πλην πολύ ενδιαφέροντα, σώματα όπως οι αστεροειδείς και οι κομήτες.

Όπως είναι αναμενόμενο, η διαστημική εξερεύνηση «θεραπεύεται» κατ' εξοχήν από τα ισχυρά κράτη που έχουν μεγαλύτερες και πιο «αξιόμαχες» επιστημονικές κοινότητες, αλλά και εντονότερο πολιτικοστρατηγικό ενδιαφέρον για το διάστημα. Ωστόσο και μικρότερα κράτη συμμετέχουν σε μικρότερο βαθμό σε αυτή την



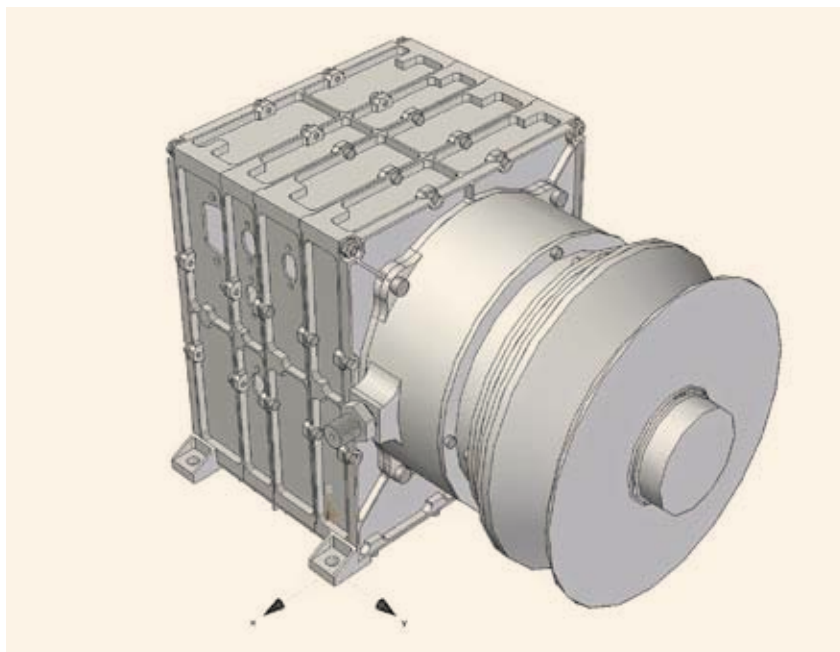
προσπάθεια με συνεισφορές σε συλλογικές, διεθνείς διαστημικές αποστολές.

Από το 2005 που η Ελλάδα έγινε πλήρες μέλος της Ευρωπαϊκής Διαστημικής Υπηρεσίας (European Space Agency - ESA), έχουν και οι ελληνικοί φορείς πλέον τη δυνατότητα συμμετοχής στον σχεδιασμό και την υλοποίηση διαστημικών αποστολών της ESA. Θα αναφερθώ εδώ ενδεικτικά στην αποστολή BepiColombo στον πλανήτη Ερμή και στη συμμετοχή σε αυτήν του Ινστιτούτου Διαστημικών Εφαρμογών και Τηλεπισκόπησης του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΙΑΕΤ/ΕΑΑ).

Ο Ερμής είναι ένας «μυστήριος» πλανήτης. Το βασικό χαρακτηριστικό του είναι η εγγύτητα στον Ήλιο. Είναι ο εγγύτατος στον Ήλιο πλανήτης και βιώνει στο πετσί του εφιαλτικά ακραίες θερμοκρασίες: από 470 βαθμούς Κελσίου στη φωτει-

νή πλευρά μέχρι μείον 180 βαθμούς στη σκοτεινή πλευρά. Αυτή η διαφορά των 650 βαθμών είναι μοναδική στο ηλιακό σύστημα. Ο Ερμής κυριολεκτικά ψήνεται και καταψύχεται ταυτόχρονα. Επιπλέον ο Ερμής έχει την ιδιαιτερότητα να είναι ο πυκνότερος από όλους τους πλανήτες του ηλιακού συστήματος, με έναν ιδιαίτερα βαρύ μεταλλικό πυρήνα. Τέλος διαθέτει ισχυρό μαγνητικό πεδίο, κάτι που δεν συμβαίνει με την Αφροδίτη ή τον Άρη.

Αυτές και μια σειρά από άλλες ιδιαιτερότητες οδήγησαν τον Οκτώβριο του 2000 την ESA, να επιλέξει την αποστολή BepiColombo στον Ερμή ως Cornerstone Mission (Αποστολή - Ακρογωνιαίο Λίθο), δηλαδή αποστολή ιδιαίτερης σπουδαιότητας. Ακολούθησε συμφωνία με την Ιαπωνία για συνεργασία σε αποστολή δύο διαστημοπλοίων. Έτσι το πρόγραμμα BepiColombo απέκτησε και μια



Γενική όψη του PICAM. Πηγή: <http://picam.iwf.oeaw.ac.at/>

σοβαρή «πολιτική» διάσταση, καθώς είναι η πρώτη συνεργασία Ευρώπης και Ιαπωνίας στο πεδίο του διαστήματος. Η Ιαπωνική Διαστημική Υπηρεσία JAXA ετοιμάζει και αυτή ένα διαστημόπλοιο που θα λειτουργήσει συνεργητικά με το ευρωπαϊκό διαστημόπλοιο. Τα δύο διαστημικά σκάφη θα εκτοξευτούν μαζί, θα κάνουν το μεγάλο ταξίδι ενωμένα και θα χωρίσουν πλησιάζοντας στον Ερμή. Ο στόχος είναι να μπουν σε διαφορετικές τροχιές, σε μεγαλύτερο ύψος το ιαπωνικό σκάφος και σε χαμηλότερο ύψος το ευρωπαϊκό σκάφος, ώστε να κάνουν συμπληρωματικές παρατηρήσεις του πλανήτη και του διαστημικού του περιβάλλοντος.

Η πλειοψηφία των αποστολών της ESA έχουν κατευθυνθεί προς τις ψυχρότερες περιοχές του ηλιακού συστήματος. Το BepiColombo είναι η πρώτη πλανητική αποστολή της ESA σε «καυτή» περιοχή και παρουσιάζει εγγενείς δυσκολίες στην υλοποίησή της λόγω της εγγύτητας του

πλανήτη στον Ήλιο. Οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες που θα αντιμετωπίσει οποιοδήποτε διαστημόπλοιο, θέτουν αντιστοίχως υψηλές απαιτήσεις προστασίας των επιστημονικών οργάνων. Επιπλέον η εγγύτητα του Ερμή στον Ήλιο δυσκολεύει τις παρατηρήσεις και λόγω της υπερβολικής λαμπρότητας του ηλιακού φωτός. Τέλος, δύσκολη είναι ακόμη και η επιτυχής είσοδος σε ευσταθή τροχιά γύρω από τον Ερμή λόγω της ισχυρής βαρυτικής έλξης του εγγύτατου Ήλιου. Άλλωστε το πρώτο σκάφος που φωτογράφησε τον Ερμή, ο Mariner-10 της NASA, δεν μπόρεσε ποτέ σε τροχιά γύρω από τον πλανήτη, αλλά τράβηξε όλες τις φωτογραφίες “en passant” –περνώντας τρεις φορές από τη γειτονιά του Ερμή, την διετία 1974-1975.

Σ’ αυτή λοιπόν την αποστολή, που παρουσιάζει εγγενείς δυσκολίες στην υλοποίησή της λόγω των πολύ υψηλών θερμοκρασιών που θα αντιμετωπίσει, σημειώνεται και η πρώτη επίσημη εμφάνιση ελ-

ληνικού φορέα σε διαστημική αποστολή της ESA. Το IDET/EAA αποτελεί μέρος της κοινοπραξίας φορέων που υπό τον συντονισμό του Ινστιτούτου Διαστημικής Έρευνας της Αυστριακής Ακαδημίας Επιστημών σχεδιάζει και κατασκευάζει το επιστημονικό όργανο PICAM.

Το PICAM (Planetary Ion Camera) είναι ένας φασματογράφος ιόντων και παρέχει πληροφορίες σχετικά με το είδος των ιόντων, την ενέργειά τους και την χωρική προέλευσή τους. Οι μετρήσεις του PICAM θα βοηθήσουν στη μελέτη των αλυσιδωτών διαδικασιών που προκύπτουν όταν ουδέτερα άτομα εκτοξεύονται από την επιφάνεια του Ερμή (για παράδειγμα λόγω πρόσκρουσης μετεωριτών) στην ατμόσφαιρα, αποκτούν ηλεκτρικό φορτίο και μετατρέπονται σε πλάσμα, δηλαδή έναν πληθυσμό ιονισμένης ύλης που περιβάλλει σαν νέφος τον πλανήτη.

Το IDET σχεδίασε και κατασκεύασε τον εξομοιωτή ψηφιακής διαχείρισης των μετρήσεων του συλλέκτη ιόντων, που θα χρησιμοποιηθεί για την έλεγχο, την αποσφαλμάτωση και την αξιολόγηση της λειτουργίας της ψηφιακής μονάδας τελικής επεξεργασίας που κατασκευάζεται από το IKI, το Ινστιτούτο Διαστημικής Έρευνας της Ρωσικής Ακαδημίας Επιστημών. Η μονάδα αυτή υλοποιήθηκε πάνω σε ψηφίδα τεχνολογίας FPGA (Field-Programmable Gate Array), υποστηρίζει το σύνθετο πρωτόκολλο επικοινωνίας της ψηφιακής μονάδας τελικής επεξεργασίας και παρέχει πληροφορίες για την κατάστασή της. Η μονάδα παραδόθηκε ήδη στην Αυστριακή Ακαδημία Επιστημών και έγινε δεκτή με ιδιαίτερα θετικά σχόλια.

Τελειώνοντας θα ήθελα να μνημονεύσω έναν διαπρεπή Έλληνα επιστήμονα του παρελθόντος, τον Ευγένιο Αντωνιάδη (1870-1944) που είχε σταδιοδρομήσει ως αστρονόμος στη Γαλλία και στον οποίο οφείλεται η πιο λεπτομερής χαρτογράφηση του Ερμή προ διαστημικής εποχής.

Βιογραφικά στοιχεία του Ιωάννη Α.Δαγκλή



Διευθυντής του Ινστιτούτου Διαστημικών Εφαρμογών και Τηλεπισκόπησης στο Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών. Μεταξύ άλλων έχει εργαστεί στο Max Planck Institute for Solar System Research (Γερμανία) και στο Applied Physics Laboratory (ΗΠΑ) και έχει διδάξει ως επισκέπτης καθηγητής στο Πανεπιστήμιο Nagoya (Ιαπωνία) και στο Διεθνές Κέντρο Θεωρητικής Φυσικής της Ουνέσκο στην Τεργέστη. Έχει δημοσιεύσει μεγάλο αριθμό επιστημονικών εργασιών σε έγκυρα διεθνή περιοδικά. Έχει δημοσιεύσει τρία βιβλία διαστημικής ως επιμελητής έκδοσης και ως μέλος της συγγραφικής ομάδας. Το ένα από αυτά είναι συνιστώμενο διδακτικό εγχειρίδιο διαστημικών επιστημών από τον ΟΗΕ. Είναι Αντεπιστέλλον Μέλος της Διεθνούς Αστροναυτικής Ακαδημίας, μέλος συμβουλευτικών επιτροπών της NASA και της ESA, μέλος των επιστημονικών ομάδων τεσσάρων διαστημικών αποστολών της NASA και της ESA, και εμπειρογνώμων αξιολόγησης διαφόρων διεθνών οργανισμών.

Αναζήτηση Εξωηλιακών Πλανητών

Παναγιώτης Γ. Νιάρχος

Τομέας Αστροφυσικής, Αστρονομίας & Μηχανικής, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Αθηνών

1. Εισαγωγή

Από την πρώτη στιγμή που οι άνθρωποι αντίκρισαν το νυκτερινό ουρανό, έθεσαν το ερώτημα αν είμαστε μόνοι στο Σύμπαν το οποίο και παραμένει ακόμη αναπάντητο. Χιλιάδες χρόνια πριν, Έλληνες φιλόσοφοι (όπως ο Μητρόδωρος από τη Χίο τον 5^ο αιώνα π.Χ., ο Δημόκριτος γύρω στο 400 π.Χ., ο Επίκουρος το 300 π.Χ. κ.α.) πίστευαν στη δυνατότητα ύπαρξης άλλων κατοικήσιμων κόσμων με συνθήκες διαφορετικές από εκείνες της Γης, καθώς και για την πιθανότητα ύπαρξης ζωής σ' αυτούς. Αλλά και κατά τον μεσαίωνα διανοητές, όπως ο Ιταλός Giordano Bruno (1584), διατύπωσαν παρόμοιες, αιρετικές για την εποχή τους, σκέψεις. Αλλά και τις τελευταίες δεκαετίες το Hollywood δεν σταμάτησε να ασχολείται με την ύπαρξη άλλων κόσμων δημιουργώντας μια σειρά από σχετικά κινηματογραφικά έργα.

Τις δύο τελευταίες δεκαετίες οι επιστήμονες άρχισαν να μετατρέπουν την επιστημονική φαντασία σε χειροπιαστή επιστήμη, χάρη στη μεγάλη εξέλιξη των αστρονομικών οργάνων και μεθόδων παρατήρησης. Τα αποτελέσματα αυτών των προσπαθειών δεν άργησαν να έρθουν. Το 1992 ανακαλύφθηκαν από τους ραδιοαστρονόμους A. Wolszczan και D. Frail οι πρώτοι εξωηλιακοί πλανήτες γύρω από τον πάλσαρ PSR 1257+12 και το 1995 έγινε μια σημαντική ανακάλυψη: ανακαλύφθηκε ο πρώτος πλανήτης γύρω από έναν άλλο αστέρα (εξωηλιακός πλανήτης). Η ανακάλυψη έγινε από δύο Ελβετούς επιστήμονες, τον D. Queloz και M. Mayor, οι οποίοι ανακάλυψαν τον πρώτο «εξωηλιακό πλανήτη», γύρω από ένα αστέρα σαν το δικό μας ήλιο, τον 51 Pegasi, με μάζα περίπου τη μισή του Δία και σε απόσταση 48 έτη φωτός μακριά από τη Γη (1 έτος φωτός = 9.5 τρισεκατομμύρια χιλιόμετρα). Η ανακάλυψη αυτή ακολουθήθηκε από εκατοντάδες άλλες μέχρι σήμερα, ενώ προβλέπεται ότι στα αμέσως επόμενα χρόνια θα ανακαλυφθούν και εξωηλιακοί πλανήτες που να μοιάζουν με τη δική μας Γη.

2. Μέθοδοι ανίχνευσης εξωηλιακών πλανητών

Όλοι σχεδόν οι γνωστοί εξωηλιακοί πλανήτες, που είναι εξαιρετικά αμυδρά σώματα σε σύγκριση με τους οικείους αστέρες, έχουν ανακαλυφθεί με τις εξής κύριες μεθόδους ανίχνευσης

Μέθοδος Ακτινικών Ταχυτήτων (Doppler spectroscopy)

Κατά την περιφορά του αστέρα και του πλανήτη γύρω από το κοινό κέντρο μάζας τους, οι μεταβολές στην ταχύτητα με την οποία ο αστέρας πλησιάζει ή απομακρύνεται από τη Γη – δηλαδή οι μεταβολές στην ακτινική ταχύτητα του αστέρα ως προς τη Γη – μπορούν να υπολογιστούν από τη μετατόπιση των φασματικών γραμμών του αστέρα βάσει του φαινομένου Doppler. Αυτή είναι και η πλέον χρησιμοποιούμενη μέθοδος.

Η ταχύτητα με την οποία κινείται ο αστέρας γύρω από το βαρύκεντρο είναι πολύ μικρότερη από εκείνη του πλανήτη, αφού η ακτίνα της τροχιάς του (αστέρα) γύρω από το κέντρο μάζας είναι πολύ μικρή. Μεταβολές στην ακτινική ταχύτητα της τάξεως 1 μέτρου ανά δευτερόλεπτο ή και μικρότερες μπορούν να μετρηθούν με σύγχρονους φασματογράφους, όπως ο HARPS στο τηλεσκόπιο 3.6 m στη La Silla της Χιλής, ή ο φασματογράφος HIRES στα τηλεσκόπια Keck I και II. Με τη μέθοδο αυτή έχουν ανακαλυφθεί οι περισσότεροι εξωηλιακοί πλανήτες.

Ένα από τα κύρια μειονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι μπορεί να υπολογίσει μόνο την ελάχιστη μάζα του πλανήτη. Η πραγματική μάζα είναι μέσα στο 20% της τιμής αυτής. Η μέθοδος των ακτινικών ταχυτήτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιβεβαιώσει τις ανακαλύψεις που γίνονται με τη μέθοδο των διαβάσεων. Όταν συνδυαστούν και οι δύο μέθοδοι, τότε μπορεί να υπολογισθεί η πραγματική μάζα του πλανήτη.

Μέθοδος διάβασης

Εάν σε ένα πλανητικό σύστημα το επίπεδο της πλανητικής τροχιάς σχηματίζει μικρή γωνία με την ευθεία παρατήρησης και ο πλανήτης περνάει μπροστά από το δίσκο του κεντρικού αστέρα, τότε η πα-

ρατηρούμενη λαμπρότητα του αστέρα ελαττώνεται κατά ένα μικρό ποσοστό. Η ελάττωση αυτή εξαρτάται από τις διαστάσεις του αστέρα και του πλανήτη. Για έναν πλανήτη παρόμοιο με τη Γη, η μεταβολή της λαμπρότητας του αστέρα είναι περίπου 1/10.000, η οποία όμως είναι ανιχνεύσιμη. Η περιοδικότητα του φαινομένου εξασφαλίζει ότι η μεταβολή της λαμπρότητας οφείλεται αποκλειστικά στη διάβαση του πλανήτη και όχι σε άλλα αίτια.

Από την ανάλυση της καμπύλης φωτός (μεταβολή της λαμπρότητας συναρτήσει του χρόνου) μπορούμε να υπολογίσουμε την κλίση του επιπέδου της πλανητικής τροχιάς, την περίοδο της τροχιάς και τις ακτίνες του πλανήτη και του αστέρα. Εάν συνδυάσουμε τα στοιχεία αυτά με εκείνα που δίνει η μέθοδος ακτινικών ταχυτήτων, τότε μπορούμε να βρούμε την τροχιακή ταχύτητα του πλανήτη, τη μάζα του πλανήτη και το μήκος του μεγάλου ημιάξονα της τροχιάς του.

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η ευκολία της και ότι μπορεί να πραγματοποιηθεί με σχετικά μικρά τηλεσκόπια. Με τη μέθοδο αυτή μπορούν να ανακαλυφθούν πλανήτες με μικρή μάζα, σαν τη Γη, ειδικά από το Διάστημα (όπως με την αποστολή Kepler, 2009). Το βασικό μειονέκτημα είναι ότι η μικρή πιθανότητα να παρατηρηθεί μια διάβαση. Πρέπει να παρατηρούνται πολλοί αστέρες ταυτόχρονα. Επίσης μπορεί εύκολα να γίνει σύγχυση με κηλίδες πάνω σε αστέρες, ή με διπλά ή τριπλά συστήματα αστερών. Απαιτούνται και μετρήσεις ακτινικών ταχυτήτων για επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων της μεθόδου αυτής.

Μέθοδος Βαρυτικής Μικροεστίασης

Το φαινόμενο της βαρυτικής μικροεστίασης συμβαίνει όταν το βαρυτικό πεδίο ενός αστέρα ενεργεί ως ένας φακός ενισχύοντας το φως ενός απομακρυσμένου αστέρα του αστρικού υποβάθρου. Αν ο αστέρας-φακός που βρίσκεται μπροστά είναι μόνος του (δηλαδή δεν υπάρχει κάποιος πλανήτης που περιφέρεται γύρω του), το βαρυτικό του πεδίο θα είναι συμμετρικό, και η φαινόμενη λαμπρότητα του απομακρυσμένου αστέρα αρχικά θα αυξάνεται συμμετρικά, καθώς οι δύο αστέρες πλησιάζουν στην ευθεία παρα-

τήρησης (παρατηρητής-αστέρας (φακός)-απομακρυσμένος αστέρας), και στη συνέχεια θα μειώνεται συμμετρικά, καθώς οι αστέρες απομακρύνονται από την ευθεία παρατήρησης, δηλαδή η παραγόμενη καμπύλη φωτός θα είναι συμμετρική στο χρόνο. Η ύπαρξη πλανήτη γύρω από τον αστέρα-φακό μπορεί να προκαλέσει αναγνωρίσιμες ανωμαλίες στην καμπύλη φωτός. Η μάζα του πλανήτη μπορεί να υπολογιστεί από το βαθμό που ο πλανήτης αυτός επιδρά στη λαμπρότητα του απομακρυσμένου αστέρα. Το σήμα από ένα πλανήτη σαν τη Γη θα μπορούσε να είναι ισχυρό (>5%), αλλά πολύ μικρής διάρκειας (μερικές ώρες). Με τη μέθοδο αυτή έχουν ανακαλυφθεί μέχρι στιγμής 8 πλανήτες.

Αστρομετρική μέθοδος

Συνίσταται στην ακριβή μέτρηση της θέσης του αστέρα στον ουρανό και της παρατήρησης του τρόπου με τον οποίο αλλάζει η θέση του με το χρόνο, εξαιτίας της βαρυτικής επίδρασης του πλανήτη πάνω στον αστέρα. Ο πλανήτης προκαλεί κίνηση του κεντρικού αστέρα σε μια πολύ μικρή κυκλική ή ελλειπτική τροχιά που είναι ανάλογη με την μάζα του πλανήτη. Όσο μεγαλύτερη είναι η μάζα του κεντρικού αστέρα, τόσο μικρότερη είναι η τροχιά. Μέχρι τώρα έχουν αναφερθεί δύο περιπτώσεις ανακάλυψης εξωηλιακών πλανητών με τη μέθοδο αυτή: Η πρώτη έγινε με το Διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble το 2002, όπου χρησιμοποιήθηκε η αστρομετρική μέθοδος για να επιβεβαιώσει την ύπαρξη εξωπλανήτη γύρω από τον αστέρα Gliese 876. Η δεύτερη ανακοινώθηκε το Μάιο 2009 και αφορά τον εξωπλανήτη VB 10b (αέριο γίγαντα με μάζα 7 φορές τη μάζα του Δία) που ανακαλύφθηκε με τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιώντας το τηλεσκόπιο 5 μ. του όρους Palomar.

Μελλοντικές παρατηρήσεις από διαστημικά συμβολόμετρα αναμένεται να ανακαλύψουν ένα μεγάλο αριθμό εξωηλιακών πλανητών με την αστρομετρική μέθοδο, αλλά προς το παρόν παραμένει μια δευτερεύουσα μέθοδος ανίχνευσης. Το πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι είναι περισσότερο ευαίσθητη σε πλανήτες με μεγάλες τροχιές, καθιστώντας την συμπληρωματική άλλων μεθόδων που είναι ευαίσθητες σε πλανήτες με μικρές τροχιές.

Άμεση παρατήρηση:

Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα υπάρχουν τα τηλεσκόπια, εφοδιασμένα με ειδικές διατάξεις (π.χ. *προσαρμοστική οπτική*) ή

όργανα κατάλληλα για κατ' ευθείαν «φωτογράφιση» πλανητών (π.χ. *στεμματογράφοι*) μπορούν να ανιχνεύσουν άμεσα εξωηλιακούς πλανήτες, που όμως πρέπει να είναι πολύ μεγαλύτεροι από το Δία, να είναι πολύ μακριά από τον κεντρικό αστέρα και να είναι νέοι, οπότε θα είναι θερμοί και θα εκπέμπουν έντονα στο υπέρυθρο. Η άμεση παρατήρηση είναι πολύ δύσκολη, γιατί (α) οι αστέρες, όπως ο Ήλιος, είναι δισεκατομμύρια φορές λαμπρότεροι από τους πλανήτες τους, και (β) οι πλανήτες και οι μητρικοί αστέρες τους βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους στον ουρανό και επομένως είναι πολύ δύσκολο να διακριθούν.

3. Νέοι πλανήτες και πλανητικά συστήματα

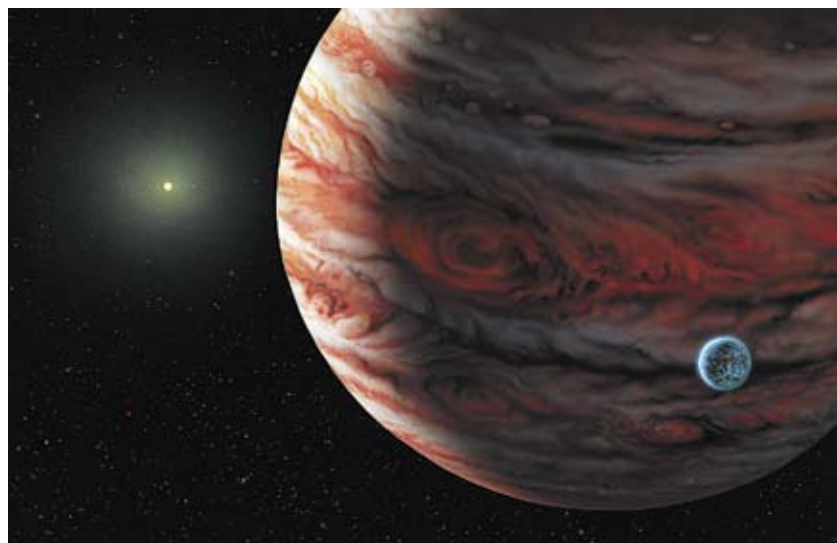
Με δεδομένο ότι υπάρχουν περί τα 200 δισεκατομμύρια αστέρες, σαν το δικό μας Ήλιο, σε κάθε γαλαξία (και δισεκατομμύρια γαλαξίες στο Σύμπαν), τελευταίες εκτιμήσεις δείχνουν ότι πρέπει να υπάρχουν μερικές δεκάδες δισεκατομμύρια πλανήτες στο δικό μας γαλαξία! Οι περισσότεροι εξωηλιακοί πλανήτες που έχουν ανακοινωθεί είναι γιγαντιαίοι πλανήτες αερίου και μοιάζουν με το πλανήτη Δία (Εικ. 1), αλλά μάλλον αυτό είναι αποτέλεσμα των περιορισμών στην τεχνολογία και τα μέσα ανίχνευσης. Εκτιμάται, όμως, ότι οι ελαφροί και βραχύδεις είναι πολύ περισσότεροι από τους γιγαντιαίους αερίους πλανήτες.

Η ανακάλυψη του πρώτου πολυπλανητικού συστήματος ανακοινώθηκε

στις 13 Νοεμβρίου 2008, από φωτογραφία όμως που πάρθηκε το 2007 με τα τηλεσκόπια Keck και Gemini. Παρατηρήθηκαν τρεις πλανήτες να περιφέρονται γύρω από το άστρο HR 8799, και με μάζες 10, 10 και 7 φορές τη μάζα του Δία, αντίστοιχα. Την ίδια μέρα ανακοινώθηκε ότι το Διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble «φωτογράφησε» κατ' ευθείαν ένα εξωηλιακό πλανήτη γύρω από τον αστέρα Fomalhaut με μάζα περίπου τριπλάσια της μάζας του Δία (Εικ. 2).

Μέχρι τώρα έχουν ανακαλυφθεί 374 πλανήτες σε 317 πλανητικά συστήματα από τα οποία τα 39 είναι πολυπλανητικά συστήματα. Οι περισσότεροι από τους πλανήτες έχουν μάζα 1-10 αυτήν του Δία, βρίσκονται πολύ κοντά στον αστέρα τους και περιφέρονται σε τροχιές με μεγάλη εκκεντρότητα. Εκτιμάται ότι γύρω από από >12% των αστέρων περιφέρονται πλανήτες αέριοι γίγαντες όπως ο Δίας και ο Κρόνος, ενώ οι μικρότερης μάζας πλανήτες, οι λεγόμενοι *Υπερ-Γαίες* (Super Earths), πιστεύεται, με βάση τελευταίους υπολογισμούς, ότι είναι περισσότερο συνήθεις (μέχρι τώρα περισσότεροι από 12).

Μια Υπέρ-Γη θα μπορούσε να είναι διπλάσια από τη Γη και με μάζα 10 φορές μεγαλύτερη. Οι Υπερ-Γαίες φαίνεται να είναι πιο φιλικές για την φιλοξενία ζωής απ' ό,τι ο κόσμος που ζούμε, γιατί πιθανώς να είναι περισσότερο γεωλογικά ενεργές. Μερικές θα έχουν τροχιές σαν τη Γη, καθιστώντας τες εξαιρετικούς τόπους για ζωή. Σύμφωνα με διακεκριμένους ερευνητές στο χώρο



Εικόνα 1. Η εικόνα αυτή αναπαριστά ένα προσφάτως ανακαλυφθέντα εξωπλανήτη (που μοιάζει με το Δία) και το φεγγάρι του (τη μπλε σφαίρα) να περιφέρονται γύρω από τον αστέρα 55 Cancri. Ένας γνωστός μεγάλος πλανήτης είναι ακριβώς αριστερά από τον αστέρα και ένας υποθετικός γήινος πλανήτης στα δεξιά του αστέρα. Credit: ESA/Lynette Cook

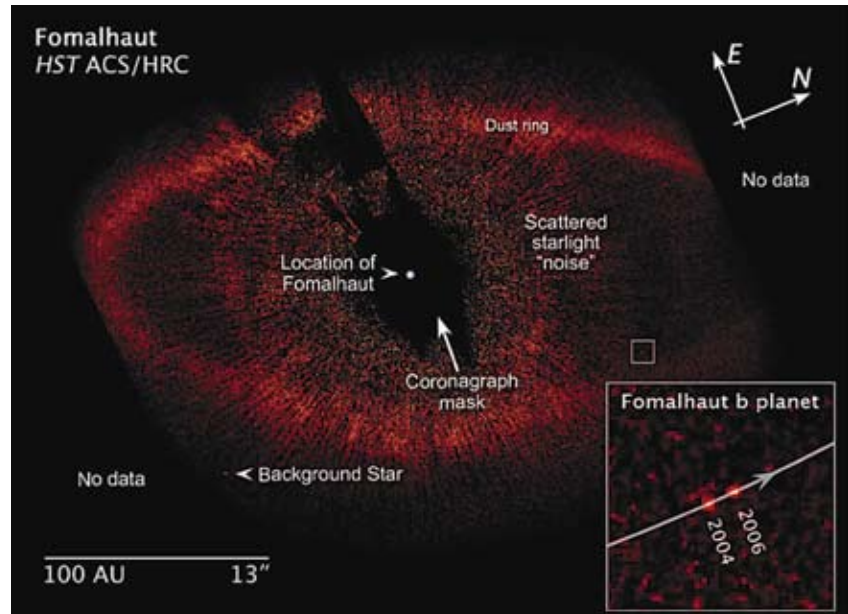
αυτό, δεν υπάρχουν απλώς πολλοί κατοικήσιμοι πλανήτες, αλλά πολλοί περισσότεροι απ' ό τι νομίζουμε. Σύμφωνα με τελευταίους υπολογισμούς, περισσότερο από το 20% των αστερών έχουν τέτοιους πλανήτες (Υπέρ-Γαίες). Αυτό σημαίνει ότι περίπου 50 δισεκατομμύρια τέτοιοι πλανήτες υπάρχουν στο δικό μας γαλαξία!

Μια τέτοια Υπέρ-Γη ανακαλύφθηκε πρόσφατα (9/2/2009) από το διαστημικό παρατηρητήριο COROT. Ο νέος πλανήτης Corot-7b, έχει μια διάμετρο μικρότερη από τη διπλάσια γήινη και περιφέρεται γύρω από τον αστέρα του με περίοδο 20 ώρες. Βρίσκεται πολύ κοντά στον αστέρα και έχει θερμοκρασία 1000-1500°C. Μετά από 4 χρόνια παρατηρήσεων, ο Michel Mayor και οι συνεργάτες του, χρησιμοποιώντας τον φασματογράφο HARPS στο 3.6-m ESO telescope at La Silla, Chile, ανακάλυψαν στο σύστημα Gliese 581 (Εικ. 3) τον εξωπλανήτη Gliese 581e με τη μικρότερη μάζα μέχρι τώρα (διπλάσια της γήινης). Ο πιο μακρινός πλανήτης, Gliese 581d, περιφέρεται γύρω από τον αστέρα σε 66.8 ημέρες, ενώ ο Gliese 581e συμπληρώνει την τροχιά του σε 3.15 ημέρες. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο πλανήτης Gliese 581d βρίσκεται στην «κατοικήσιμη ζώνη», όπου μπορεί να υπάρχουν ωκεανοί νερού σε υγρή μορφή.

4. Ύπαρξη ζωής σε άλλους πλανήτες

Οι περισσότεροι εξωηλιακοί πλανήτες έχουν ανακαλυφθεί με τη μέθοδο των ακτινικών ταχυτήτων, η οποία είναι και η πλέον επιτυχής. Όμως οι περισσότεροι απ' αυτούς είναι αέριοι γίγαντες που μοιάζουν με τον Δία. Εύλογα λοιπόν ανακύπτουν τα ερωτήματα: Είναι το δικό μας ηλιακό σύστημα ασύνηθες; Μήπως η μέθοδος αυτή είναι «περισσότερο ευνοϊκή» για την ανακάλυψη (θερμών) πλανητών σαν τον Δία ("Hot Jupiters");

Εάν υπάρχουν πολλοί "Hot Jupiters" εκεί έξω, υπάρχουν μερικοί που πιθανώς θα μπορούσαν να φιλοξενήσουν ζωή; Η απάντηση είναι «μάλλον όχι», γιατί έχουν πολύ υψηλές επιφανειακές θερμοκρασίες, τεράστια βαρύτητα και συγχρονισμένη (λόγω βαρυτικής έλξης) τροχιά πολύ κοντά στον αστέρα. Πρόσφατα έχουν βρεθεί πολύ λίγοι σε πιο «λογικές (ευνοϊκές)» αποστάσεις από το μητρικό τους αστέρι. Όμως πώς ορί-



Εικόνα 2. Ο εξωπλανήτης Fomalhaut b (ένθετη εικόνα στο διαπλανητικό νέφος σκόνης του αστέρα Fomalhaut), όπως φωτογραφήθηκε από τον στεφανογράφο του διαστημικού τηλεσκοπίου Hubble. Credit: NASA, ESA and P. Kalas (Univ. of California, Berkeley, USA)



Εικόνα 3. Ο εξωηλιακός πλανήτης Gliese 581e είναι ο τέταρτος πλανήτης που βρέθηκε γύρω από τον αστέρα Gliese 581, ένα κόκκινο νάνο φασματικού τύπου M3V, σε απόσταση περίπου 20.5 έτη φωτός από τη Γη στον αστερισμό του Ζυγού. Είναι ο μικρότερος εξωηλιακός πλανήτης που έχει ανακαλυφθεί να περιφέρεται γύρω από ένα κανονικό αστέρα και υπολογίζεται ότι έχει (ελάχιστη) μάζα 1.9 φορές τη μάζα της Γης. Credit: ESO/L. Calçada

ζεται η «κατοικήσιμη ζώνη» (habitable zone) ενός αστέρα;

Η βασική προϋπόθεση για να υπάρξουν ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη ζωής σε ένα πλανήτη είναι η ύπαρξη ατμόσφαιρας, οξυγόνου, νερού σε υγρή μορφή και δειγμάτων βιολογικής δραστηριότητας (μεθάνιο). Άλλοι παράγοντες που επίσης επηρεάζουν την «κατοι-

κησιμότητα» ενός πλανήτη είναι:

- Η βαρύτητα (να συγκρατεί την ατμόσφαιρα αλλά να μην συνθλίβει τη ζωή).
- Ο ρυθμός (ταχύτητα) περιστροφής περί τον άξονά του (πρέπει να υπάρχει σταθερή θερμοκρασία ημέρα/νύχτα).

- Η κλίση του άξονα περιστροφής του (να υπάρχει ομαλή εναλλαγή εποχών).
- Η εκκεντρότητα της τροχιάς του (να μην υπάρχουν μεγάλες αλλαγές στην ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται ο πλανήτης).
- Η απόστασή του από τον κεντρικό αστέρα (όχι υπερβολικές παλιρροιογόνες δυνάμεις).
- Ηλικία του πλανήτη (να υπάρχει σταθερότητα με την πάροδο του χρόνου, εάν πρόκειται ν'ανθίσει η ζωή...).

Είναι πολύ πιθανό ότι μέσα στα επόμενα 10 χρόνια θα έχουμε ένα δείγμα από εξωπλανήτες του μεγέθους της Γης μέσα στην «κατοικήσιμη ζώνη» και θα μπορέσουμε να μελετήσουμε τις ατμόσφαιρές τους. Ενδείξεις ικανής ποσότητας οξυγόνου στις ατμόσφαιρες αυτές θα ήταν ένα τόσο ισχυρό σημάδι ύπαρξης ζωής όσο η εύρεση απολιθωμάτων στον Άρη.

Από τις μέχρι τώρα παρατηρήσεις δεν προκύπτει με βεβαιότητα η ύπαρξη ζωής στο Σύμπαν (σε οποιαδήποτε μορφή).

Πλανητικά συστήματα υπάρχουν πολλά, αλλά κανένας πλανήτης τους δεν μοιάζει με τη Γη. Ίσως το μάθουμε σε 4-5 χρόνια μετά την ολοκλήρωση του προγράμματος **Kepler**. Το αν υπάρχει ζωή (ανεπτυγμένη;) σε ένα τέτοιο πλανήτη θα το μάθουμε πολύ αργότερα. Για την εμφάνιση και ανάπτυξη ζωής πρέπει να συνυπάρξουν πολλές προϋποθέσεις.

5. Μελλοντικές προοπτικές

Οι μέθοδοι άμεσης παρατήρησης αναθεωρούνται προς την κατεύθυνση της βελτίωσής τους. Ένα βασικό πρόβλημα στον εντοπισμό πλανητών είναι ότι ο μητρικός τους αστέρας είναι 10^6 μέχρι 10^9 φορές λαμπρότερος από τους συνοδούς πλανήτες! Η καλύτερη και περισσότερο υποσχόμενη μέθοδος είναι η συμβολομετρία, η οποία έχει αρχίσει ήδη να χρησιμοποιείται από το έδαφος (π.χ. Keck I και Keck II), ενώ από το Διάστημα θα επιτευχθεί σε 10 περίπου χρόνια. Διαστημικές αποστολές σε λειτουργία με σκοπό την ανακάλυψη εξωηλιακών πλανητών είναι το COROT (2006)

και το Kepler (2009), ενώ για το μέλλον προγραμματίζονται άλλες αποστολές όπως Gaia (2011), SIM (2012-2015), Darwin/TPF (2015-2020).

Σύγχρονες παρατηρήσεις και θεωρητικοί υπολογισμοί αποδεικνύουν αδιαμφισβήτητο ότι εξωηλιακοί πλανήτες υπάρχουν, και ανακαλύπτονται όλο και περισσότεροι κάθε μήνα. Η **μέθοδος ακτινικών ταχυτήτων** δίνει και τα περισσότερα θετικά αποτελέσματα, αλλά και οι άλλες μέθοδοι χρησιμοποιούνται με επιτυχία. Τα αποτελέσματα είναι εντυπωσιακά, αλλά οι παρατηρούμενοι εξωπλανήτες και εξωπλανητικά συστήματα είναι διαφορετικά από το δικό μας ηλιακό σύστημα! Είναι οι θεωρίες μας λάθος ή οι μέθοδοι παρατήρησης δεν είναι οι κατάλληλες για τον εντοπισμό ανάλογων συστημάτων; Είναι ερωτήματα που απασχολούν τους επιστήμονες και διερευνώνται σε βάθος. Καθ'όλες τις ενδείξεις, οι προοπτικές είναι καλές για μια άμεση παρατήρηση εξωηλιακών πλανητών σαν την Γη μέσα στα επόμενα 10-15 χρόνια.

Βιβλιογραφία

1. Chiang, E., Kite, E., Kalas, P., et al., 2009, "Fomalhaut's Debris Disk and Planet: Constraining the Mass of Fomalhaut b from disk Morphology", *ApJ*, 693, 734
2. Marcy, G., 2009, Planet Hunter in *Missions for Exoplanets: 2010 - 2020*, Pasadena
3. Marcy, G., Butler, R., Fischer, D., et al., 2005, "Observed Properties of Exoplanets: Masses, Orbits and Metallicities". *Progress of Theoretical Physics Suppl.* 158, p. 24
4. Marois, C. et al., 2008, *Science*, Vol. 322, Issue 5906, p. 1348
5. Mayor, M., Queloz, D., 1995, "A Jupiter-mass companion to a solar-type star", *Nature* 378, p. 355
6. Mayor et al., 2009, "The HARPS search for southern extra-solar planets, XVIII. An Earth-mass planet in the GJ 581 planetary system", *Astronomy & Astrophysics*
7. Sasselov, D. D., Valencia, D., O'Connell, R. J., 2008, "Massive terrestrial planets (super-Earths): detailed physics of their interiors", *Physica Scripta*, Vol. 130, pp. 014035
8. Schneider, J., "Interactive Extra-solar Planets Catalog". *The Extrasolar Planets Encyclopedia*. <http://exoplanet.eu/catalog.php>.
9. Wolszczan, A., Frail, D. A., 1992, "A planetary system around the millisecond pulsar PSR1257+12", *Nature* 355, p. 145

Βιογραφικά στοιχεία του Παναγιώτη Γ. Νιάρχου



Καθηγητής της Παρατηρησιακής Αστροφυσικής στο Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ). Είναι πτυχιούχος του Τμήματος Μαθηματικών του ΕΚΠΑ και κάτοχος MSc και PhD από το Πανεπιστήμιο του Manchester, UK. Είναι Διευθυντής του Τομέα Αστροφυσικής, Αστρονομίας και Μηχανικής του Τμήματος Φυσικής του ΕΚΠΑ και Διευθυντής του Γεωσταθμού Αστεροσκοπείου του ΕΚΠΑ. Υπήρξε επισκέπτης ερευνητής στα Πανεπιστήμια Tübingen και Münster της Γερμανίας, και έχει δημιουργήσει πολλές συνεργασίες με γνωστά αστρονομικά κέντρα και αστεροσκοπεία του εξωτερικού. Είναι μέλος της Επιστημονικής Επιτροπής του Commission 42 της IAU, του European Network of Excellence in Asteroseismology, καθώς και διαφόρων ελληνικών και διεθνών επιστημονικών Εταιρειών και Ενώσεων. Τα επιστημονικά του ενδιαφέροντα εστιάζονται σε θέματα Παρατηρησιακής Αστροφυσικής και ειδικότερα σε φωτομετρικές και φασματοσκοπικές παρατηρήσεις και θεωρητικές μελέτες αλληλεπιδρώντων διπλών αστέρων και παλλόμενων μεταβλητών αστέρων. Έχει κάνει παρατηρήσεις σε πολύ γνωστά και μεγάλα αστεροσκοπεία του εξωτερικού και έχει δημοσιεύσει μεγάλο αριθμό επιστημονικών εργασιών σε διεθνή περιοδικά και συνέδρια.

Κοσμικοί Επιταχυντές

Λουκάς Βλάχος

Τομέας Αστροφυσικής, Αστρονομίας και Μηχανικής, Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Παν/μιο Θεσσαλονίκης

Εισαγωγή

Το μεγαλύτερο ποσοστό της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που τα δορυφορικά και επίγεια τηλεσκόπια συλλέγουν από το διάστημα είναι «θερμική» ακτινοβολία που προέρχεται κυρίως από τους αστέρες. Η θερμική ακτινοβολία έχει κατανοηθεί πλήρως από τις αρχές του 20ου αιώνα, ονομάζεται «ακτινοβολία του μελανού σώματος» παράγεται από τα διεγερμένα άτομα και μόρια ενός αερίου που βρίσκεται σε θερμική ισορροπία με το περιβάλλον. Τα θεμέλια για την ερμηνεία της θερμικής ακτινοβολίας τα έβαλε ο Max Planck (1858-1947). Η ερμηνεία της ακτινοβολίας του «μελανού σώματος» αποτέλεσε τη βάση πάνω στην οποία στηρίχτηκε η κβαντομηχανική. Ένα πολύ ενδιαφέρον χαρακτηριστικό της θερμικής ακτινοβολίας είναι ότι αναλύοντας το φάσμα μιας θερμικής πηγής μπορούμε να υπολογίσουμε την θερμοκρασία στη επιφάνεια της. Η ακτινοβολία που καταγράφουν οι φασματογράφοι από τον Ήλιο πλησιάζει πολύ κοντά την ακτινοβολία του μελανού σώματος με θερμοκρασία ~6000K (βλέπε Σχήμα 1α).

Τα αέρια ή τα στερεά σώματα που εκπέμπουν θερμική ακτινοβολία έχουν ένα ακόμα χαρακτηριστικό: η μέση κινητική ενέργεια των σωματιδίων συνδέεται με την θερμοκρασία του σώματος. Υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ της «θέρ-

μανσης» ενός αερίου ή στερεού σώματος και της «επιτάχυνσης» ενός μικρού αριθμού των μορίων ή φορτίων του αν το αέριο είναι ιονισμένο (πλάσμα). Συνήθως στην αστροφυσική, αν προσφέρουμε ενέργεια σε ένα ιονισμένο αέριο θα απορροφηθεί από όλα τα σωματίδια και θα ανεβάσει τη θερμοκρασία του. Μερικές φορές, ένα μικρό ποσοστό ενέργειες (10-20%) θα απορροφηθεί από ένα σχετικό μικρό πληθυσμό σωματιδίων που θα επιταχυνθούν σε μεγάλες ενέργειες (πολύ κοντά στη ταχύτητα του φωτός). Τα φορτία που επιταχύνονται από τους κοσμικούς επιταχυντές ονομάζονται **μη-θερμικά**. Η θέρμανση λοιπόν μπορεί να παρομοιαστεί με ένα δείγμα «σοσιαλιστικής» ανακατανομής της προσφερόμενης ενέργειας και η επιτάχυνση με μια μορφή «καπιταλιστικής» ανακατανομής της ενέργειας.

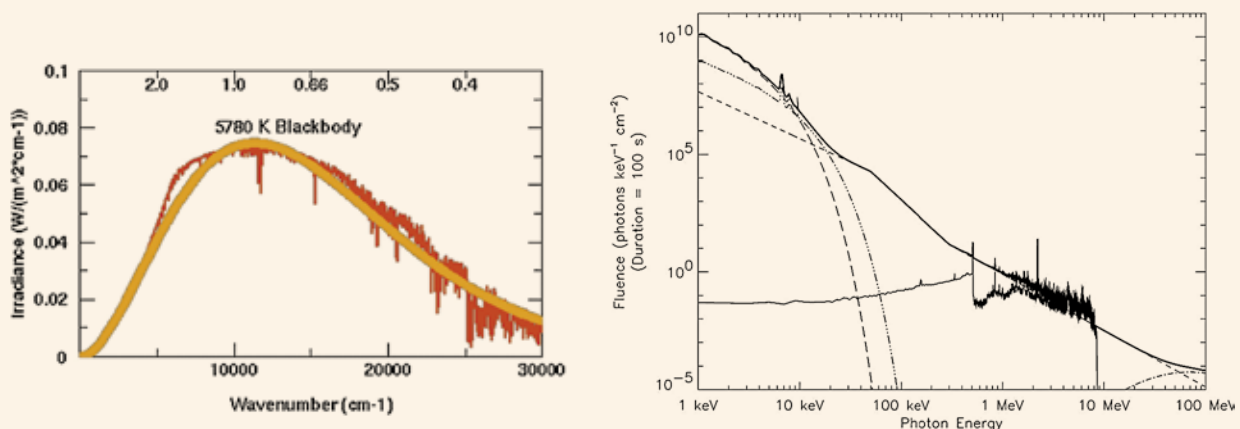
Τα 99% του αερίου στο σύμπαν είναι στην τετάρτη κατάσταση της ύλης (πλάσμα). Άρα θα πρέπει από εδώ και πέρα να μιλάμε για θέρμανση, επιτάχυνση και ακτινοβολία των φορτισμένων σωματιδίων (ηλεκτρονίων και ιόντων). Τα φωτόνια πολύ υψηλής ενέργειας (ακτίνες X και ακτίνες γ) συνήθως δημιουργούνται από τα μη θερμικά φορτία και η ακτινοβολία που εκπέμπουν λέγεται επίσης «μη-θερμική».

Ο κύριος μηχανισμός επιτάχυνσης των φορτίων στο σύμπαν είναι τα ηλε-

κτρικά και μεταβαλλόμενα (χωρικά και χρονικά) μαγνητικά πεδία (κύματα). Η συνύπαρξη του θερμικού πλάσματος με ένα ποσοστό επιταχυνμένων φορτίων δημιουργεί μια ιδιαίτερη κατανομή (Εικόνα 1β).

Στη φύση παρατηρούνται μια σειρά από πηγές που ακτινοβολούν σε πολύ υψηλές ενέργειες (βλέπε το άρθρο του κ. Μαστιχιάδη). Συνήθως οι πηγές αυτές συνδέονται με εκρηκτικά φαινόμενα και αναπτύσσουν ισχυρά ηλεκτρομαγνητικά πεδία για να επιταχύνουν φορτία σε πολύ υψηλές ενέργειες. Μια σειρά από ασυνήθιστες κοσμικές πηγές, όπως οι υπερκαινοφανείς αστέρες, οι παλλόμενοι αστέρες (πάλσαρς), οι ενεργοί γαλαξίες και οι κοσμικοί πίδακες και οι ξαφνικές εξάρσεις των ακτίνων γάμμα (GRB), δεν μπορούν να ερμηνευτούν με βάση την θερμική ακτινοβολία. Τα υψηλής ενέργειας φωτόνια (προερχόμενα από ραδιοπηγές, πηγές ακτίνων-X και ακτίνων-γ), που εκλύονται σε αυτές τις επιλεγμένες περιοχές του σύμπαντος που μόλις αναφέραμε, δημιουργούνται από υψηλής ενέργειας ελεύθερα ηλεκτρόνια και ιόντα.

Οι ενέργειες στις οποίες μπορούν να φτάσουν τα μη θερμικά φορτία στο σύμπαν είναι ασύλληπτα μεγάλες. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι κοσμικές ακτίνες που βομβαρδίζουν συνεχώς την Γη και συνεχίζουν να παραμένουν μετά από πολλές δεκαετίες ένα ανεξή-



Εικόνα 1. (α) Το φάσμα από μια θερμική πηγή (τον Ήλιο), (β) Το φάσμα μιας μη θερμικής πηγής (ακτινοβολία από μια έκλαμψη στην επιφάνεια του Ήλιου). Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει και το γεγονός ότι η ενεργειακή κατανομή των μη θερμικών φορτίων ακολουθεί ένα συγκεκριμένο νόμο δύναμης.

γητο φαινόμενο. Το ενεργειακό φάσμα των κοσμικών ακτίνων φτάνει σε πολύ υψηλές ενέργειες ($>10^{20}$ eV, η ενέργεια που αντιστοιχεί σε $1\text{eV}=10^{-19}$ Joule) και ακολουθεί με μεγάλη ακρίβεια ένα απλό νόμο. Οι κοσμικοί επιταχυντές που θα μεταφέρουν μεγάλα ποσοστά ενέργειας στα μη θερμικά φορτία παραμένουν επίσης ένα πολύ σύνθετο και μέχρι στιγμής ανοικτό πρόβλημα. Η μη θερμική ακτινοβολία και οι κοσμικοί επιταχυντές δημιούργησαν τα τελευταία χρόνια μια από τις πιο δραστήριες ερευνητικές περιοχές της αστροφυσικής, την **αστροφυσική των υψηλών ενεργειών**.

Αναφερθήκαμε μέχρι εδώ σε μερικές σημαντικές έννοιες, όπως για παράδειγμα στην θέρμανση, στην επιτάχυνση καθώς και στην διάκριση της θερμικής και μη θερμικής ακτινοβολία υψηλών ενεργειών (ακτίνες X και γ). Θα επικεντρωθούμε τώρα στους βασικούς φυσικούς μηχανισμούς επιτάχυνσης φορτίων στο σύμπαν.

Μηχανισμοί επιτάχυνσης

Οι κυριότεροι μηχανισμοί επιτάχυνσης φορτίων στο διάστημα είναι:

1 Τα **ηλεκτρικά πεδία** που αποτελούν τον ευκολότερο τρόπο επιτάχυνσης φορτίων. Οι κυκλικοί και γραμμικοί επιταχυντές στο εργαστήριο (π.χ. ο Large Hydron Collider στο CERN) αξιοποιούν εύκολα τα ηλεκτρικά πεδία, δημιουργώντας διαφορές δυναμικού σε ειδικά σημεία μέσα στον επιταχυντή. Οι τεχνικές αυτές είναι μάλλον δύσκολο να δημιουργηθούν στο διάστημα. Το πλάσμα στο διάστημα είναι ηλεκτρικά ουδέτερο (ο αριθμός των ηλεκτρονίων και ιόντων είναι ο ίδιος) και η εμφάνιση ηλεκτρικών πεδίων έχει ως αποτέλεσμα την κίνηση τους ώστε να μηδενίσουν τα ηλεκτρικά πεδία. Σποραδικά ηλεκτρικά πεδία σε ακραίες συνθήκες μπορούν να εμφανιστούν για μικρά χρονικά διαστήματα. Παράδειγμα εμφάνισης ισχυρών ηλεκτρικών πεδίων που συνοδεύεται από μια ηλεκτρική εκκένωση είναι ο **κεραυνός**, που αποτελεί ακόμα και σήμερα ένα εξαιρετικά ενδιαφέρον και ανοικτό ερευνητικό πρόβλημα. Οι ηλεκτρικές εκκενώσεις μεταξύ θετικών και αρνητικών φορτισμένων νεφών ή μεταξύ νεφών και εδάφους δημιουργούν μια σειρά εντυπωσιακών φαινομένων στην ατμόσφαιρα.

2 Η παρουσία μαγνητικού πεδίου στο πλάσμα δημιουργεί μια σειρά από ειδικές αστάθειες που προκαλούν

την ξαφνική εμφάνιση ηλεκτρικών πεδίων κάτω από ειδικές συνθήκες. Μια από αυτές είναι η **επανασύνδεση μαγνητικών γραμμών**, ένα πολύ σύνθετο πρόβλημα της φυσικής πλάσματος που προκαλεί απότομες μετατροπές του τοπικού μαγνητικού πεδίου και δημιουργεί ισχυρά ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Η επανασύνδεση μαγνητικών γραμμών είναι ένας ενδιαφέρον κοσμικός επιταχυντής γιατί μεταφέρει μαγνητική ενέργεια στα φορτία προκαλώντας θέρμανση και επιτάχυνση. Πιστεύουμε σήμερα ότι μια σειρά από επιταχυντές στο Ηλιακό μας σύστημα βασίζονται στην επανασύνδεση μαγνητικών γραμμών (εκλάμψεις, μαγνητο-ουρά κλπ).

3 Τα **ηλεκτρομαγνητικά κύματα και η τύρβη** είναι από τους πιο ενδιαφέροντες μηχανισμούς επιτάχυνσης φορτίων. Την αρχική ιδέα παρουσίασε τη δεκαετία του 50 ο Enrico Fermi. Ο Fermi ανέλυσε την αλληλεπίδραση φορτίων με τα μεσοαστρικά (μαγνητισμένα) νέφη, και έδειξε ότι η διάχυση των φορτίων στο χώρο των ταχυτήτων έχει σαν αποτέλεσμα την επιτάχυνση τους. Ο μηχανισμός αυτός επεκτάθηκε αργότερα και στην αλληλεπίδραση φορτίων και κυμάτων και δημιουργήθηκε μια ολόκληρη ομάδα μηχανισμών επιτάχυνσης που ανήκουν στην κατηγορία «επιταχυντές τύπου Fermi».

Η «τύρβη» αποτελεί μια ιδιαίτερη κατηγορία επιταχυντών που ακόμα δεν έχει κατανοηθεί γιατί η αναλυτική περιγραφή της «τύρβης» είναι αδύνατη και η υπολογιστική μελέτη της για μεγάλης κλίμακας συστήματα είναι επίσης αδύνατη με τα σημερινά δεδομένα. Η επιτάχυνση σε αστροφυσικά συστήματα που έχουν μεταβεί σε κατάσταση «**πλήρους ανεπτυγμένης τύρβης**» είναι δύσκολη και αποτελεί ένα ενδιαφέρον πρόβλημα που περιμένει την λύση του. Θα δούμε στη συνέχεια ότι μια σειρά αστροφυσικά συστήματα συνδέονται με τυρβώδεις ροές και η επιτάχυνση των φορτίων από την τύρβη είναι αναπόφευκτη.

4 Τέλος ο επικρατέστερος μηχανισμός επιτάχυνσης στο διαστημικό και κυρίως στο αστροφυσικό πλάσμα είναι το **κρουστικό κύμα**. Ένας από τους κύριους λόγους της κυριαρχίας του στην αστροφυσική είναι και η απλότητα του. Το κρουστικό κύμα αποτελεί μια μη γραμμική ασυνέχεια που εμφανίζεται στο μέτωπο μιας γραμμικής ή σφαιρικής ροής κοντά στο μέσο αστρικό περιβάλλον (π.χ. κρουστικά κύματα δημιουργούνται στις σχετικιστικές ροές ή στις εκρή-

ξεις υπερκαινοφανών – βλέπε Εικόνα 3). Τα κρουστικά κύματα δημιουργούν στη γειτονιά τους ασταθή κύματα και αποτελούν ένα ιδιόμορφο επιταχυντή Fermi, γιατί τα κύματα αναγκάζουν τα φορτία να περνάνε πολλές φορές μέσα από την ασυνέχεια του κρουστικού κύματος και έτσι να κερδίζουν ενέργεια ταχύτερα από το κλασικό μηχανισμό Fermi που αναφέραμε παραπάνω.

Είναι φανερό ότι αυτή η κατηγοριοποίηση των επιταχυντών σε τέσσερες διακριτές ομάδες εξυπηρετεί την ανάλυση τους σε βάθος. Ωστόσο στη φύση πολλοί από αυτούς τους μηχανισμούς συνυπάρχουν σε ένα περιβάλλον που τα κρουστικά κύματα και η επανασύνδεση μαγνητικών γραμμών συνεργάζονται αρμονικά στο να επιταχύνουν φορτία στα πλαίσια μίας πλήρως ανεπτυγμένης τυρβώδους ροής.

Επιταχυντές στην Ηλιόσφαιρα

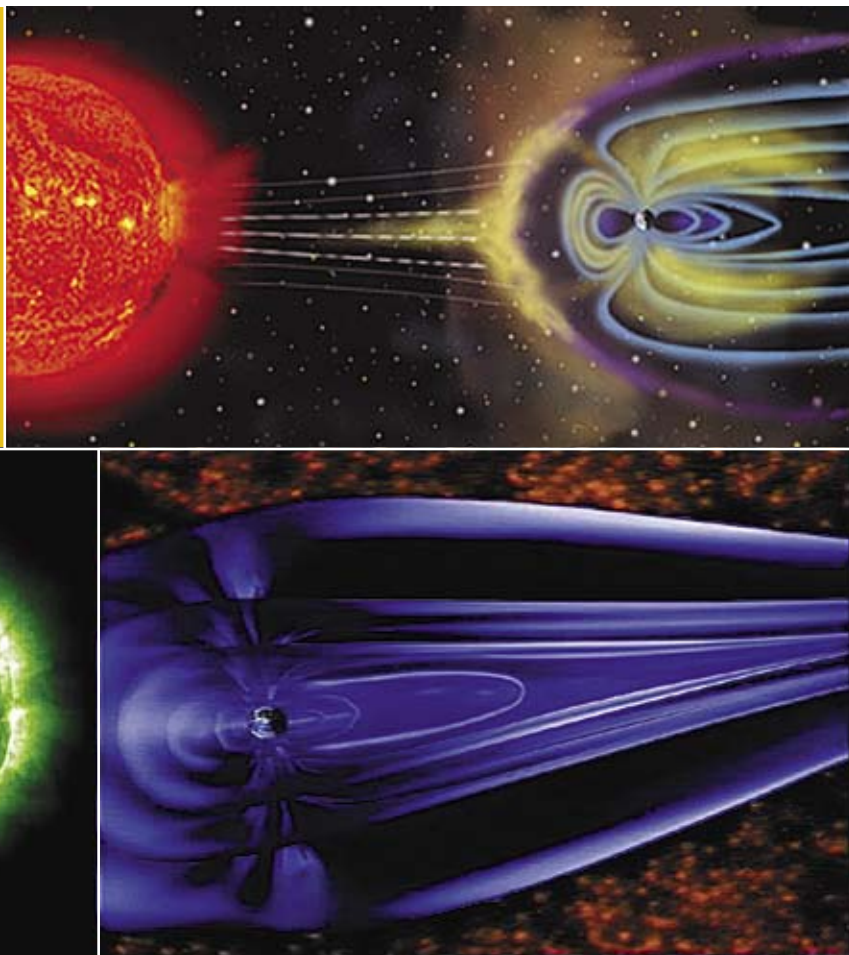
Στη συνέχεια θα αναφέρω μόνο μερικούς από τους κοντινότερους στη Γη επιταχυντές:

1 Οι **ηλιακές εκλάμψεις** και οι απότομες στεμματικές διαταραχές που τις συνοδεύουν, δημιουργούνται από τα ισχυρά μαγνητικά πεδία στα κέντρα δράσης. Η ζώνη μεταφοράς και οι ροές στη φωτόσφαιρα συνεχώς μετακινούν τις μαγνητικές γραμμές και δημιουργούν πολλές φορές ασταθείς μαγνητικές τοπολογίες. Αποτέλεσμα αυτών των ασταθειών είναι η επανασύνδεση των μαγνητικών γραμμών και η απότομη αλλαγή της μαγνητικής δομής τους με παράλληλη απελευθέρωση ενέργειας (βλέπε Εικόνα 2).

2 Το **κρουστικό κύμα** που δημιουργεί η **αλληλεπίδραση του ηλιακού ανέμου και το μαγνητικό δίπολο της Γης** είναι ένας από τους πιο γνωστούς και καλά μελετημένους επιταχυντές φορτίων μέσα στην Ηλιόσφαιρα (βλέπε Εικόνα 2).

3 **Μαγνητο-ουρά** και οι **μαγνητικές καταιγίδες** δημιουργούνται διαμετρικά αντίθετα από το κρουστικό κύμα και προκαλούνται από την πίεση που ασκεί η ροή του Ηλιακού ανέμου στις μαγνητικές γραμμές όταν «περάσει το εμπόδιο» του μαγνητικού διπόλου της Γης. Η επανασύνδεση των μαγνητικών γραμμών δημιουργεί μια αλληλουχία από πολύπλοκα φαινόμενα που επιταχύνουν φορτία μέσα στην μαγνητόσφαιρα της Γης (Εικόνα 2) και προκαλούν και το παρόμοιο φαινόμενο στους πόλους, το γνωστό σαν **Πολικό Σέλας**.

Εικόνα 2. (α) Ο Ήλιος εκτινάσσει διαρκώς τεράστια ποσά (πολλούς τόνους) από φορτισμένα σωματίδια από την επιφάνειά του. Τα φορτισμένα σωματίδια (Ηλιακός άνεμος) δημιουργούν ένα κρουστικό κύμα στο σημείο που ο Ηλιακός άνεμος συναντά το μαγνητικό δίπολο της Γης. (β) Οι ηλιακές εκλάμψεις επιταχύνουν φορτία αξιοποιώντας των μηχανισμό της επανασύνδεσης των μαγνητικών γραμμών, (γ) Το ίδιο συμβαίνει και με την μαγνητο-ουρά που δημιουργείται από την ροή του ηλιακού ανέμου.



Υπάρχουν και άλλα εντυπωσιακά σημεία επιτάχυνσης στην Ηλιόσφαιρα αλλά στα πλαίσια αυτού του σύντομου άρθρου δεν είναι δυνατόν να αναφερθούν.

Επιταχυντές στην αστροφυσική

Θα αναφέρω εν συντομία μερικούς από τις γνωστότερους κοσμικούς επιταχυντές στην αστροφυσική.

1. Υπερκαινοφανείς: Το **κρουστικό κύμα** που δημιουργείται από την κατάρρευση αστέρων μεγάλης μάζας ($M > 10$ μάζες ήλιου) και ταξιδεύει στο μεσοαστρικό χώρο αποτελεί έναν πολύ αποδοτικό μηχανισμό επιτάχυνσης (βλέπε Εικόνα 3). Τα σημερινά μοντέλα δείχνουν ότι μέχρι και το 10% από την ενέργεια της τυρβώδους σφαιρικής ροής μπορεί να μεταφερθούν σε λίγα φορτία που θα φτάσουν ενέργειες κοντά στα 10^{15} - 10^{16} eV.

2. Παλλόμενοι αστέρες: Οι γρήγορα περιστρεφόμενοι αστέρες νετρονίων δημιουργούν ισχυρά ηλεκτρικά πεδία και μαγνητικά πεδία που επιταχύνουν φορτία στη γειτονιά τους. Επίσης σχετικιστικές ροές φορτίων, που δημιουργούνται

από τους ισχυρούς ανέμους γύρο από συμπαγή αντικείμενα, αλληλεπιδρούν με το μεσο-αστρικό περιβάλλον και δημιουργούν κρουστικά κύματα (βλέπε Εικόνα 3).

3. Γαλαξίες: Έχουν αυξημένη δυνατότητα να δημιουργούν αστέρες και υπερκαινοφανείς αστέρες, αποτελούν πολύπλοκα συστήματα με πολλά αλληλεπιδρώντα κρουστικά κύματα και είναι πιθανά κέντρα κοσμικών επιταχυντών που παραμένουν ακόμα αδιερεύνητα.

4. Σμήνη γαλαξιών: Είναι μεγάλα συστήματα γαλαξιών, αερίου και σκοτεινής ύλης με πολλά υποσυστήματα (τοπικούς επιταχυντές), μπορούν να παγιδεύσουν φορτία που βλέπουν όλα τα υποσυστήματα σαν ένα **‘δίκτυο’** επιταχυντών και μπορούν να επιταχύνουν φορτία σε πολύ υψηλές ενέργειες. **Τα σμήνη γαλαξιών δεν έχουν ακόμη μελετηθεί επαρκώς ως κοσμικοί επιταχυντές.**

5. Μαζικές Μελανές οπές: Βρίσκονται στα κέντρα των γαλαξιών και αποτελούν συστηματικές πηγές φορτίων μεγάλης ενέργειας. Πιθανολογείται ότι μια σειρά από σχετικιστικές ροές μπορούν να παράγουν τις γρήγορα μεταβαλλόμενες

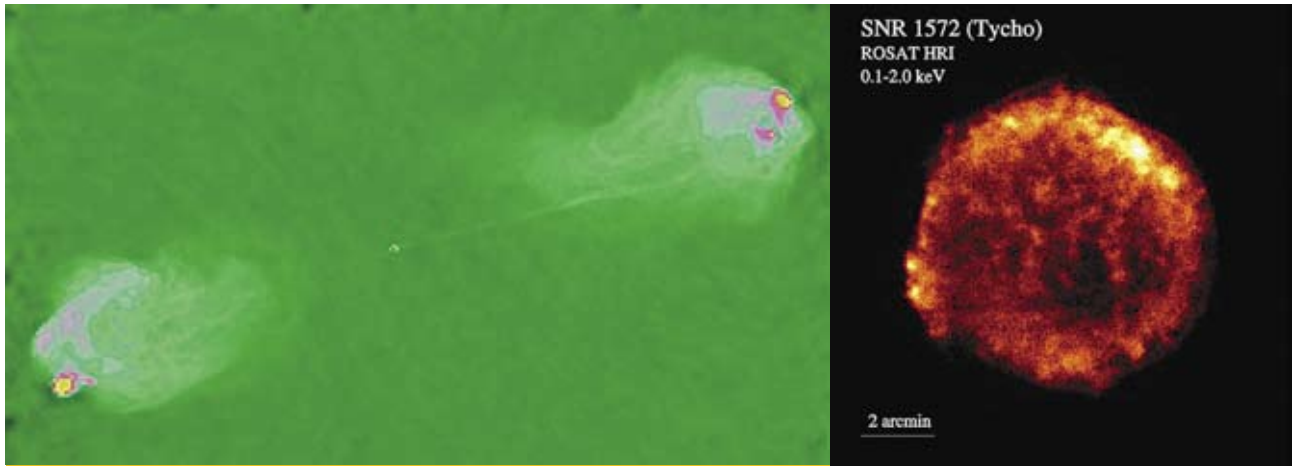
ακτίνες Χ. **Οι λεπτομέρειες του μηχανισμού επιτάχυνσης παραμένουν άγνωστες.**

Οι παραπάνω κοσμικές πηγές, που φιλοξενούν μηχανισμούς επιτάχυνσης, είναι ένα μικρό σχετικά υποσύνολο όλων των πιθανών κοσμικών επιταχυντών στο σύμπαν.

Το μυστήριο των κοσμικών ακτίνων

Θα κλείσω αυτό το σύντομο άρθρο με ένα μεγάλο ανοικτό μυστήριο, τις λεγόμενες «κοσμικές ακτίνες». Στο Σχήμα 4 βλέπουμε το ενεργειακό φάσμα των φορτίων υψηλής ενέργειας που φτάνουν στη Γη από το γαλαξία μας αλλά και από έξω-γαλαξιακές πηγές. Δύο είναι τα σημαντικά σημεία σ' αυτή την εικόνα: (1) υπερβολικά μεγάλες ενέργειες που μπορεί να φτάσουν τα φορτία (μέχρι 10^{20} eV) και (2) ο παγκόσμιος νόμος δύναμης που ακολουθεί η ενεργειακή κατανομή τους (με ένα περίεργο γόνατο στα 10^{15} eV και μία πιθανή αλλαγή του νόμου δύναμης στο 10^{18} eV).

Η επιτάχυνση των κοσμικών ακτίνων αποτελεί σήμερα ένα μεγάλο μυστήριο



Εικόνα 3. (α) Οι σχετικιστικές ροές επιταχύνουν φορτία από την τύρβη κατά μήκος της ροής αλλά και δημιουργώντας ένα κρουστικό κύμα στο σημείο που αλληλεπιδρούν με το μεσοαστικό πλάσμα, (β) Το κρουστικό κύμα στους υπερκαινοφανείς αστέρες έχει σαν αποτέλεσμα την πολύ αποδοτική επιτάχυνση φορτίων.

για την αστροφυσική των υψηλών ενεργειών. Ενέργειες μέχρι τα 10^{15} eV είναι εύκολο να φτάσουν οι μηχανισμοί που αναφέρθηκαν πιο πάνω, αλλά ενέργειες που πλησιάζουν τα 10^{20} eV αποτελούν μια 'ανωμαλία' ακόμα και για τους πιο αποδοτικούς κοσμικούς επιταχυντές. Ένα θέμα που μπορεί να δυσχεραίνει την κατανόηση των ενεργειών 10^{20} eV είναι

και η άγνωστη σύσταση της λεγόμενης σκοτεινής ύλης και της αλληλεπίδρασης με τη κανονική ύλη.

Συμπεράσματα

Η παρουσία μη θερμικής ακτινοβολίας στο σύμπαν μας αναγκάζει να αναζητήσουμε μηχανισμούς επιτάχυνσης.

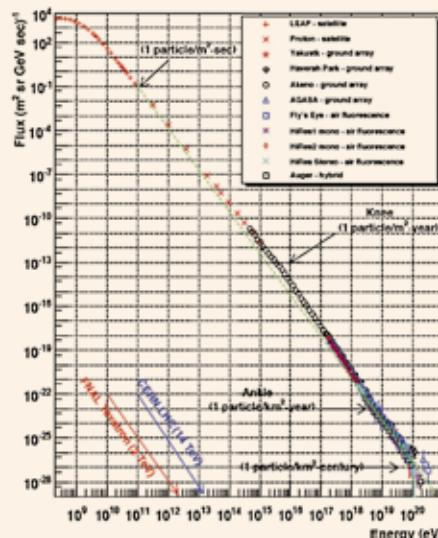
Τα μεταβαλλόμενα μαγνητικά πεδία (επανασύνδεση μαγνητικών γραμμών, μαγνητο-υδροδυναμική τύρβη και κρουστικά κύματα είναι οι χαρακτηριστικότεροι μηχανισμοί επιτάχυνσης) στο σύμπαν.

Αστροφυσικά φαινόμενα που φιλοξενούν πολύ δραστήριους και αποδοτικούς επιταχυντές είναι συνήθως οι «εκρηκτικές» πηγές που ακτινοβολούν φωτόνια υψηλής ενέργειας (ακτίνων X και ακτίνων γ - αστροφυσική υψηλών ενεργειών).

- ▶ Εκλάμψεις
- ▶ Μαγνητοουρά της Γης
- ▶ Υπολείμματα υπερκαινοφανών
- ▶ Εκλάμψεις ακτίνων γ (GRB)
- ▶ Συγκρούσεις γαλαξιών-αστέρων νετρονίων και μελανών οπών
- ▶ Ενεργοί γαλαξίες, δίσκοι προσαύξησης και σχετικιστικοί πίδακες
- ▶ Παλλόμενοι αστέρες και Magnetars

Η διαδικασία της επιτάχυνσης φορτίων στο διαστημικό χώρο αλλά και η ερμηνεία της μη θερμικής ακτινοβολίας αποτελούν σήμερα μεγάλα και ανοικτά ερευνητικά θέματα για την αστροφυσική.

Σχήμα 4. Το ενεργειακό φάσμα των κοσμικών ακτίνων που βομβαρδίζουν συνεχώς και συμμετρικά την ατμόσφαιρα της Γης. Η εικόνα αποτελεί μια σύνθεση μετρήσεων από πολλά επίπεδα αλλά και διαστημικά τηλεσκόπια. Δύο πράγματα αξίζουν την προσοχή μας (α) Η σταθερότητα του νόμου δύναμης στο ενεργειακό φάσμα, (β) Το μέγιστο του ενεργειακού φάσματος που μπορεί να φτάσει εξαιρετικά υψηλές ενέργειες (10^{20} eV)! Η σύγκριση με τους μεγάλους επιταχυντές της Γης είναι επίσης ενδιαφέρουσα.



Βιογραφικά στοιχεία του Λουκά Βλάχου



Καθηγητής Αστροφυσικής στο Τμήμα Φυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Απέκτησε Πτυχίο Φυσικής από το Τμήμα Φυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης το 1972 και συνέχισε μεταπτυχιακές σπουδές στο Πανεπιστήμιο του Maryland, ΗΠΑ, όπου και απέκτησε τα πτυχία Μάστερς (1976) και Διδακτορικό (1979). Από το 1981 μέχρι το 1985 εργάστηκε στο Πανεπιστήμιο του Maryland και ήταν υπεύθυνος ερευνητικών προγραμμάτων που χρηματοδοτούσε η NASA. Το 1985 επέστρεψε στο Τμήμα Φυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, όπου και εργάζεται μέχρι σήμερα. Έχει δημοσιεύσει μεγάλο αριθμό επιστημονικών εργασιών σε έγκυρα διεθνή περιοδικά. Είναι μέλος του Διοικητικού Συμβουλίου της Ελληνικής Αστρονομικής Εταιρείας και πολλών διεθνών οργανισμών.

Η Γένεση και ο Κύκλος της Ζωής των Αστέρων

Κανάρης Τσίγκανος

Τομέας Αστροφυσικής, Αστρονομίας & Μηχανικής, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Αθηνών

Περίληψη

Θα συζητηθεί περιεκτικά αλλά απλοποιημένα η γένεση και ο κύκλος της ζωής των αστέρων, σύμφωνα με πρόσφατες αστρονομικές παρατηρήσεις από επίγεια ή δορυφορικά τηλεσκόπια σε συνδυασμό με σύγχρονα θεωρητικά αποτελέσματα ενός Πανερωπαϊκού ερευνητικού δικτύου στο οποίο συμμετέχει η ερευνητική μας ομάδα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών. Ωστόσο λόγω έλλειψης χώρου περισσότερη έμφαση θα δοθεί στην αστρική γένεση, όπου έχουμε και τις περισσότερες νεώτερες εξελίξεις.

Η γένεση, σε αντιδιαστολή με τη μέτεπειτα ώριμη ζωή και τον αναπόφευκτο θάνατο των άστρων, συμβαίνει σχετικά σύντομα και εντός μικρών σχετικών διαστάσεων οι οποίες δεν είναι εύκολα ανιχνεύσιμες στις μεγάλες αστρονομικές αποστάσεις στις οποίες βρίσκονται. Επιπλέον, οι νεογέννητοι αστέρες είναι δύσκολοι ανιχνεύσιμοι διότι είναι αμυδροί και κρυμμένοι μέσα στα σκοτεινά μητρικά νεφελώματα από τα οποία αναδύονται. Η πρόοδος της αστρονομικής παρατήρησης ωστόσο μας δίνει σήμερα, για πρώτη φορά, τη δυνατότητα να διεισδύουμε στο αθέατο εσωτερικό των νεφελωμάτων όπου βρίσκονται τα «αστρικά βρεφοκομεία» στα οποία μεγαλώνουν αστρικά «νεογνά», ηλικίας «μόνο» μερικών εκατομμυρίων ετών, ενώ προβλέπεται να ζήσουν χιλιάδες φορές περισσότερο. Επομένως, στην ανθρώπινη κλίμακα είναι βρέφη, αντίστοιχης ανθρώπινης ηλικίας μόλις μερικών ημερών. Οι εκκολαπτόμενοι αυτοί νέοι αστέρες που περιβάλλονται από πυκνά δισκοειδή κουκούλια ύλης και εκτοξεύουν περίτεχνους πίδακες πλάσματος στο μεσοαστρικό χώρο θα αποτελέσουν, όταν ενηλικιωθούν, νέους Ήλιους με πλανήτες να περιφέρονται γύρω τους. Πιθανώς κάποιοι από αυτούς τους πλανήτες

θα αποκτήσουν συνθήκες κατάλληλες και για την ανάπτυξη ζωής. Η μελέτη της γένεσης των αστέρων μας παρέχει επομένως τη δυνατότητα να παρακολουθήσουμε την παρόμοια διαδικασία δημιουργίας του δικού μας πλανητικού συστήματος μερικά δισεκατομμύρια χρόνια πριν, όταν φυσικά εμείς δεν υπήρχαμε.

Με τον Ήλιο ως ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα **ώριμης αστρικής ζωής**, θα γίνει μια σύντομη αναφορά στο **τέλος της ζωής** των αστέρων κατά το οποίο δημιουργούνται είτε λευκοί νάνοι, είτε ταχύτατα περιστρεφόμενοι αστέρες νετρονίων εντός πολυσχιδών νεφελωμάτων, ή, μυστηριώδεις μελανές οπές. Οι εκρήξεις όμως των υπερκαινοφανών που σηματοδοτούν το τέλος της αστρικής ζωής και διασκορπίζουν στο διάστημα τα χημικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται το σώμα μας, γονιμοποιούν και συγχρόνως παρέχουν το σπινθήρα εκκίνησης της ζωής μιας νέας και πιο εμπλουτισμένης σε μέταλλα γενιάς άστρων.

Θα παρουσιασθεί μια σύντομη ιστορική εισαγωγή της εξέλιξης της μελέτης των αστέρων τους τελευταίους αιώνες και θα δοθούν παραδείγματα των αστρικών γεννητόρων, δηλ., των σκοτεινών νεφελωμάτων και πώς αυτά σήμερα

παρατηρούνται με υπέρυθρη ακτινοβολία. Στη συνέχεια, θα συζητηθούν τα διάφορα στάδια σχηματισμού αστέρων ενώ τελικά θα σχολιασθούν ορισμένες «συμπτώσεις» της όλης διαδικασίας. Για παράδειγμα, **γιατί** σχηματίζονται *πίδακες και δίσκοι* πλάσματος γύρω από την κεντρική αέρια συμπύκνωση, από τους οποίους τελικά θα δημιουργηθούν οι πλανήτες; **Γιατί** η βαρύτητα η οποία γεννά αλλά και τελικά καταστρέφει τους αστέρες είναι *υπερβολικά αδύνατη* σε σχέση με τις άλλες δυνάμεις; κ.τ.ο. Είναι όλα αυτά απλές συμππτώσεις;

1. Γαλαξίες, αστέρες, άτομα, πυρήνες, ηλεκτρόνια: τα συστατικά του Σύμπαντος

Ξεκινάμε λοιπόν ένα ταξίδι μακριά στο χώρο και πίσω στο χρόνο για να ανακαλύψουμε πώς γεννιούνται τα αστέρια, και επομένως και ο Ήλιος μας, και πώς τα πλανητικά συστήματα. Εμείς βέβαια δεν είμαστε τότε εκεί για να παρακολουθήσουμε τη διαδικασία γένεσης του Ήλιου μας. Μπορούμε όμως να την δούμε σήμερα να επαναλαμβάνεται και έτσι να συμπεράνουμε πώς έγινε και τότε, περί τα 5 δισεκατομμύρια χρόνια πριν. Ας



Εικόνα 1. Αριστερά: Η μακρινότερη σκόπευση του Σύμπαντος με το Διαστημικό Τηλεσκόπιο Hubble αποκαλύπτει μυριάδες πρωτόγονων γαλαξιών που σχηματίστηκαν περί το 1 δις έτη μετά τη Μεγάλη Έκρηξη και επομένως το φως τους ταξίδεψε περί τα 13 δις έτη για να φθάσει σε εμάς. Η εικόνα αυτή καλύπτει μια πολύ μικρή περιοχή του ουρανού στον αστερισμό της Μεγάλης Άρκτου και έχει γωνιακή διάμετρο μικρότερη από το 1/30 της γωνιακής διαμέτρου της πανσελήνου. Η μικρή αυτή σκόπευση είναι ωστόσο μια τυπική εικόνα του Σύμπαντος και σε άλλες κατευθύνσεις, λόγω της ισοτροπίας του Σύμπαντος (<http://hepwww.rl.ac.uk/ukdmc/pop/hdfrp.html>). Δεξιά: Ο γινώριμός μας γαλαξίας της Ανδρομέδας.

δούμε όμως καταρχήν ποιά είναι τα βασικά συστατικά του Σύμπαντος

Η απλούστερη περιγραφή του Σύμπαντος είναι ότι αποτελείται από γαλαξίες, οι γαλαξίες από αστέρες, οι αστέρες από άτομα και τα άτομα από πυρήνες και ηλεκτρόνια.

Η ύλη τριγύρω μας είναι «γεμάτη» από άτομα. Για παράδειγμα, ένας μικρός κύβος όσο ένα ζάρι περιέχει τον ασύλληπτα μεγάλο αριθμό των περίπου 10^{24} ατόμων. Κι όμως *κάθε άτομο είναι ουσιαστικά «άδειο» από ύλη*. Για να το κατανοήσουμε αυτό, ας φανταστούμε ότι ο πυρήνας ενός ατόμου έχει το μέγεθος μιας ασπρίνης. Τότε τα ηλεκτρόνια του ατόμου αυτού θα περιφέρονταν γύρω του σε απόσταση περίπου ίση με 1 χιλιόμετρο. Δηλαδή, στις «τεράστιες» αποστάσεις ανάμεσα στον πυρήνα και τα ηλεκτρόνια δεν υπάρχει τίποτα. Έτσι, ο κύβος αυτός όπως και κάθε υλικό σώμα (και το σώμα μας) είναι κατά περίπου 99.999% κενός χώρος!

Κατ' αναλογία με την ύλη, το Σύμπαν είναι «γεμάτο» από γαλαξίες. Αν η διάμετρος του Γαλαξία μας ήταν 10 εκατοστά του μέτρου (όσο ένα πιατάκι του καφέ) – στην κλίμακα αυτή ($1:10^{22}$) αποστάσεις ίσες με 1 εκατοστό αντιστοιχούν σε πραγματικές Γαλαξιακές αποστάσεις 10.000 ετών φωτός (το έτος φωτός είναι η απόσταση που διανύει το φώς σε ένα έτος), ο κοντινότερος γαλαξίας θα ήταν σε απόσταση 2 μέτρων και το παρατηρούμενο Σύμπαν θα είχε διαστάσεις 10 χιλιομέτρων. Αν λοιπόν το Σύμπαν έχει το μέγεθος μιας πόλης διαμέτρου 10 χιλιομέτρων, τότε, σε κάθε 2 μέτρα θα συναντούσαμε ένα γαλαξία μεγέθους όσο μια μπάλα ποδοσφαίρου. Ωστόσο, *οι Γαλαξίες είναι «άδειοι» από αστέρες*. Συγκεκριμένα ο Γαλαξίας μας περιέχει περί τα 100 δισεκατομμύρια αστέρες, ενώ εμείς βρισκόμαστε κάπου στα περίχωρά του. Για να κατανοήσουμε την κενότητα του γαλαξία μας, ας φανταστούμε ένα «χάρτη» του σε κλίμακα $1:100$ δισεκατομμύρια, δηλαδή αποστάσεις ίσες με 1 εκατοστό του μέτρου αντιστοιχούν σε πραγματικές αποστάσεις 1 εκατομμυρίου χιλιομέτρων. Σε αυτό το χάρτη, η διάμετρος του Ήλιου θα ήταν περί το ένα εκατοστό του μέτρου, όσο η χάνδρα ενός κομπολογιού. Σε απόσταση 1,5 μέτρων από τον Ήλιο θα βρισκόταν η Γη μας με διάμετρο μικρότερη από το $1/10$ του χιλιοστού (όσο η μύτη μιας καρφίτσας). Ο μακρινότερος «πρώην» πλανήτης Πλούτων θα βρισκόταν σε απόστα-

ση 40 μέτρων. Και ο κοντινότερος απλανής αστέρας, ο εγγύτατος του Κενταύρου, θα απείχε μια απόσταση περίπου 300 χιλιομέτρων, ενώ ο λαμπρός Σείριος θα ήταν περίπου στα 600 χιλιόμετρα. Μεταξύ λοιπόν του Ήλιου και των κοντινότερων άλλων άστρων δεν υπάρχει σχεδόν τίποτα παρεκτός από υπεραραιό αέριο, και γι' αυτό λέμε ότι οι Γαλαξίες είναι «άδειοι».

Αυτό είναι το Σύμπαν μας, το οποίο είναι «γεμάτο» από γαλαξίες, αλλά ο καθένας τους είναι «άδειος» από αστέρες και ο κάθε αστέρας αποτελείται σε τελευταία ανάλυση από άτομα τα οποία όπως εξηγήσαμε είναι ουσιαστικά κενός χώρος. Ζούμε λοιπόν σε ένα κόσμο όπου κυριαρχεί το κενό από το μικρόκοσμο μέχρι τις εσχατιές του Σύμπαντος. Τι είναι τότε αυτό που κρατά το Σύμπαν συγκροτημένο; Τι κρατά τα συστατικά των πυρήνων ενωμένα και τι κρατά τα ηλεκτρόνια τόσο μακριά από τους πυρήνες αλλά και τόσο συνδεδεμένα μαζί τους; Τι κάνει ένα τοίχο να φαίνεται συμπαγής και να μας εμποδίζει να τον διαπεράσουμε παρ' όλο που και ο τοίχος και το σώμα μας αποτελούνται βασικά από κενό; Τι είναι αυτό που κρατά τα ουράνια σώματα σε τόσο μεγάλες αποστάσεις μεταξύ τους και υπαγορεύει τις αρμονικές κινήσεις των πλανητών; Είναι οι δυνάμεις της φύσεως, οι φαινομενικά τόσο ετερόκλητες, οι οποίες όμως λειτουργούν με ασύλληπτη αρμονία και ακρίβεια. Θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε ότι αυτό που κυριαρχεί στο Σύμπαν δεν είναι η ύλη αλλά οι δυνάμεις¹.

Οι ισχυρές ελκτικές πυρηνικές δυνάμεις ανάμεσα στα πρωτόνια και τα νετρόνια τα συγκρατούν για να μην διαλυθεί ο πυρήνας, παρά τις ισχυρές απωστικές ηλεκτρικές δυνάμεις των θετικά φορτισμένων πρωτονίων. Οι ίδιες ισχυρές πυρηνικές δυνάμεις διέπουν την πυρηνική σχάση που λαμβάνει χώρα στους αντιδραστήρες των πυρηνικών εργοστασίων, τη θερμοπυρηνική σύντηξη που συμβαίνει στο εσωτερικό του Ήλιου και των αστερών αλλά και στη βόμβα Υδρογόνου. Οι μεγάλης εμβέλειας ελκτικές ή απωστικές ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις δρουν ανάμεσα σε ηλεκτρισμένα σωματίδια και συγκρατούν τα άτομα, δηλαδή τα αρνητικά ηλεκτρόνια γύρω από τα θετικά πρωτόνια. Οι ασθενείς πυρηνικές δυνάμεις είναι υπεύθυνες για τη ραδιενέργεια ενώ στους αστέρες και στον Ήλιο η θερμοπυρηνική σύντηξη μετατρέπει τα πρωτόνια σε νετρόνια. Χωρίς αυτή τη ραδιενεργό διάσπαση-β, ο

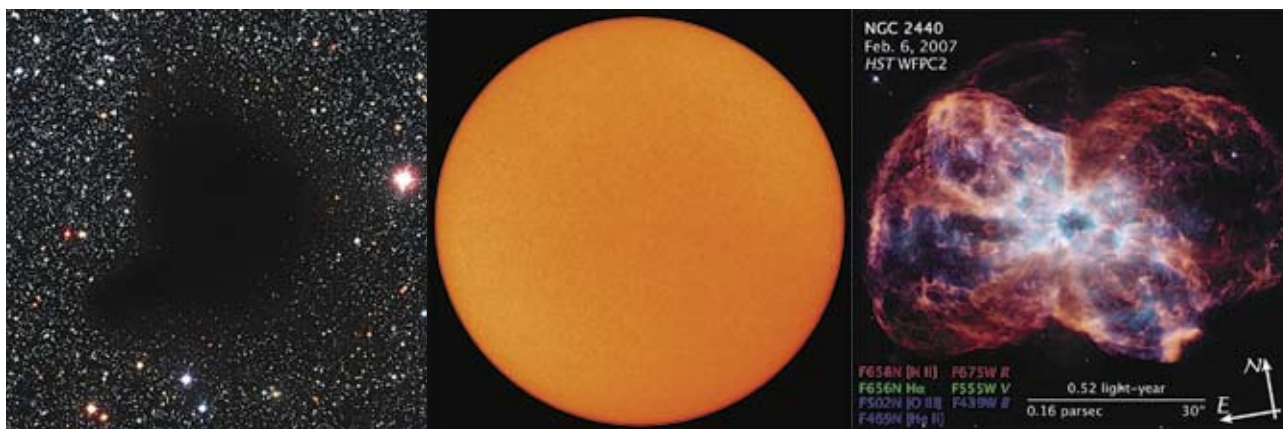
Ήλιος δεν θα υπήρχε και εμείς δεν θα είμαστε εδώ. Τέλος, οι μεγάλης εμβέλειας βαρυτικές δυνάμεις συγκρατούν τη Σελήνη και τους τεχνητούς δορυφόρους σε τροχιά γύρω από τη Γη, σχημάτισαν τις τεράστιες δομές των γαλαξιών που μέσα τους περιστρέφονται όπως ο Ήλιος μας και οι άλλοι αστέρες, οι πλανήτες γύρω από τους αστέρες, και οι δορυφόροι γύρω από τους πλανήτες.

2. Ο κύκλος της ζωής των αστερών

Η μελέτη της γένεσης των αστερών είναι μια επίπονη ερευνητική δραστηριότητα κυρίως λόγω του γεγονότος ότι συντελείται σε πολύ μικρές, σχετικά, αστρονομικές κλίμακες που δεν είναι εύκολα ανιχνεύσιμες, δηλ., σε διαστάσεις της τάξης των δεκάδων αστρονομικών μονάδων (1 αστρονομική μονάδα αντιστοιχεί σε 150 εκατομμύρια χιλιόμετρα), ενώ τυχαίνει οι περιοχές γένεσης των αστερών να βρίσκονται πολύ μακριά από εμάς (εκατοντάδες έτη φωτός), ενώ παράλληλα οι πρωταστέρες είναι αμυδροί και πολύ δύσκολοι ανιχνεύσιμοι. Όταν οι αστέρες γεννηθούν έχουν μεγάλη φωτεινότητα και γιαυτό είναι εύκολοι ανιχνεύσιμοι σε μεγάλες γαλαξιακές αποστάσεις, ενώ όταν τελειώνουν τη ζωή τους με την μορφή ερυθρών υπεργιγάντων και πλανητικών νεφελωμάτων, ή όταν εκρήγνυνται ως εντυπωσιακοί υπερκαινοφανείς είναι επίσης ανιχνεύσιμοι από μακριά. Μόνο η γέννησή τους, μέσα στη σκοτεινή μήτρα των αδιαφανών νεφελωμάτων περνά σχετικά απαρατήρητη. Γι' αυτό και το πρώτο μέρος της τριλογίας γέννηση-ζωή-θάνατος των αστερών είναι και το τελευταίο που μας έγινε μόνο πρόσφατα παρατηρήσιμο και κατανοητό, μετά την πρόοδο των δορυφορικών τηλεσκοπίων και της σύγχρονης Αστροφυσικής.

3. Ιστορικά στοιχεία της εξέλιξης της κατανόησης του κύκλου της ζωής των αστερών

Το έτος 1609 ο πατέρας της σύγχρονης Αστρονομίας και κατασκευαστής του πρώτου διαθλαστικού τηλεσκοπίου (98 cm) Γαλιλαίος κατασκεύασε και έστρεψε το πρώτο τηλεσκόπιο στον ουρανό της Πάδουας. Το έτος 2009 κατά το οποίο έχουμε τη 400^η επέτειο αυτού του σημαντικού σταθμού στη παρατήρηση του Σύμπαντος, τα Ηνωμένα Έθνη και η Διεθνής Αστρονομική Ένωση το ανακή-



Εικόνα 2. Αριστερά: Ένα σκοτεινό μοριακό νεφέλωμα (ΣΜΝ), μια μεγάλη συμπύκνωση αερίου και σκόνης που απορροφά πρακτικά όλο το ορατό φως που εκπέμπουν οι αστέρες του πεδίου, δηλ., οι αστέρες που βρίσκονται πίσω του. Τα ΣΜΝ είναι οι πιο κρύες και απομονωμένες περιοχές του Σύμπαντος από τις οποίες γεννώνται οι νέοι αστέρες <http://apod.nasa.gov/apod/ap060409.html>

Κέντρο: Μιά πολύ πρόσφατη (17/9/08) φωτογραφία του «ήσυχου» Ήλιου σε μήκος κύματος 6767 Angstrom με τό όργανο MDI (Michelson Doppler Imager) που βρίσκεται πάνω στο διαστημόπλοιο SoHO http://sohowww.nascom.nasa.gov/data/realtime/mdi_igr/512/

Δεξιά: Επιθανάτιοι σπασμοί ενός άστρου παρόμοιοι με τον Ήλιο μας, του NGC 2440, το οποίο παρατηρήθηκε με το Διαστημικό τηλεσκόπιο στις 6 Φεβρουαρίου 2007 στον αστερισμό Puppis <http://apod.nasa.gov/apod/ap070215.html> Στην εικόνα όμως αυτή βλέπουμε στην πραγματικότητα το άστρο όπως ήταν πριν 4.000 χρόνια, όσο η απόστασή του από μας. Τεραστίων διαστάσεων φλεγόμενα αέρια νέφη εξακοντίζονται στο διάστημα ενώ τα υπολείμματα του αστεριού διακρίνονται ως μία λευκή κουκίδα, ένα λευκό νάνο στο κέντρο. Τα άτομα που δημιουργήθηκαν στο κέντρο του αστεριού, όπως και στον Ήλιο, διασκορπίζονται στο διάστημα εμπλουτίζοντας σε χημικά στοιχεία τα νεφελώματα από τα οποία μια ημέρα θα σχηματισθούν σταδιακά νέα αστέρια.

ρυξαν ως Παγκόσμιο Έτος Αστρονομίας (International Year of Astronomy 2009). Ο Γαλιλαίος με αυτό το τηλεσκόπιο παρατήρησε τους δορυφόρους του πλανήτη Δία και τις φάσεις της Αφροδίτης επιβεβαιώνοντας το Ηλιοκεντρικό Σύστημα του Αριστάρχου, τις Ηλιακές κηλίδες, τα Σεληνιακά τοπία (κρατήρες, κλπ) καθώς και το Γαλαξία αποτελούμενο από μυριάδες αστέρες. Προς το τέλος του 1700 ο Herschel κατασκεύασε εκατοντάδες τηλεσκόπια και έτσι άρχισε η εποχή της συστηματικής παρατήρησης των αστερών.

Κατά τις αρχές του 1800 το ερώτημα πώς σχηματίσθηκαν οι αστέρες απασχολεί τους Kant και Laplace. Παρά το ότι όλοι μας σήμερα θεωρούμε τον Kant ως ένα εκ των ιδρυτών της σύγχρονης φιλοσοφίας, ο Kant είχε επίσης μεγάλο ενδιαφέρον για τις Φυσικές Επιστήμες και ιδιαίτερα για την Αστρονομία, έχοντας διαβάσει το έργο του Νεύτωνα Principia και έχοντας επηρεαστεί από αυτό. Ο Kant μελέτησε τα αποτελέσματα των παλιρροιών πάνω στην περιστροφή της Γης και το 1755 δημοσίευσε το περίφημο σύγγραμμά του *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels* (Παγκόσμια Φυσική Ιστορία και Θεωρία του Ουρανού) στο οποίο παρουσίασε λεπτομερειακά τη θεωρία του για τη γένεση του Ηλιακού Συστήματος. Συγκεκριμένα πρότεινε ότι το Ηλιακό Σύστημα σχηματίσθηκε από την κατάρρευση ενός αέ-

ριου νεφελώματος το οποίο καθώς κατέρρεε, περιστρεφόταν ολοένα και πιο γρήγορα και έτσι το σχήμα του γινόταν βαθμιαία φακοειδές και τελικά σχηματιζόταν ένας δίσκος. Η κεντρική περιοχή σχημάτισε τον Ήλιο και το υπόλοιπο υλικό του δίσκου τους πλανήτες. Ο Kant δεν ήταν Μαθηματικός και μόνο μερικά χρόνια αργότερα (1796) ο Laplace έδωσε στη θεωρία αυτή μαθηματική βάση στο έργο του *Exposition de systeme du monde*. Υπήρχε ωστόσο μια βασική διαφορά μεταξύ των θεωριών του Laplace και του Kant. Ο Laplace θεωρούσε ότι οι πλανήτες σχηματίσθηκαν από τη φυγόκεντρη αποβολή δακτυλίων ύλης καθώς ο Ήλιος συμπυκνωνόταν. Σε αντίθεση, ο Kant θεωρούσε ότι οι πλανήτες σχηματίσθηκαν απευθείας από το περιστρεφόμενο αέριο. Οι σύγχρονες παρατηρήσεις φαίνεται να επιβεβαιώνουν περισσότερο την άποψη του Kant.

Προς το τέλος του 1800 την αστρονομική κοινότητα απασχολεί το ερώτημα πώς λάμπουν οι αστέρες και οι Kelvin και Helmholtz διατυπώνουν τη θεωρία της βαρυτικής συστολής. Σύμφωνα με αυτή, την βαρυτική ενέργεια που κατέχει μια σφαιρική μάζα M και ακτίνας R και που δίδεται από τη σχέση $U = 3GM^2/5R$, την ακτινοβολεί με φωτεινότητα L καθώς η σφαιρική μάζα M καταρρέει λόγω της δικής της βαρύτητας. Αντικαθιστώντας για παράδειγμα τις τιμές της μάζας και της ακτίνας του Ήλιου και διαιρώ-

ντας με την Ηλιακή φωτεινότητα L μπορούμε να πάρουμε μια τάξη μεγέθους της διάρκειας ζωής του T , δηλ., $T = U/L = 18.220.850$ έτη. Αυτή η τιμή όμως των εκατομμυρίων ετών είναι πολύ μικρότερη από την ηλικία των πετρωμάτων της Γης που είναι δισεκατομμύρια έτη. Το ερώτημα του ποιά είναι η πηγή της θερμότητας του Ήλιου απαντήθηκε αργότερα, όταν ο Einstein διετύπωσε την περίφημη σχέση του για την ισοδυναμία μάζας και ενέργειας $E=mc^2$ και έτσι κατανοήθηκε η μακροζωία του Ήλιου και των αστερών λόγω μετατροπής μάζας σε ενέργεια κατά τη θερμοπυρηνική σύντηξη στο κέντρο του Ήλιου, μια διαδικασία που διαρκεί δις έτη. Στη συνέχεια, στις αρχές του 1900 οι Eddington – Jeans – Chandrasekhar απαντούν στο ερώτημα ποιά είναι η δομή των αστερών. Αργότερα, το όριο Chandrasekhar δίνει τη μεγαλύτερη μάζα ενός αστέρα του οποίου η πίεση των κβαντικού αερίου των σωματιδίων του μπορεί να αντισταθεί στη βαρύτητα. Έτσι φθάνουμε στα τέλη του 1900 οπότε αρχίζει η συστηματική παρατήρηση της γένεσης των αστερών με τα μεγάλα επίγεια και δορυφορικά τηλεσκόπια.

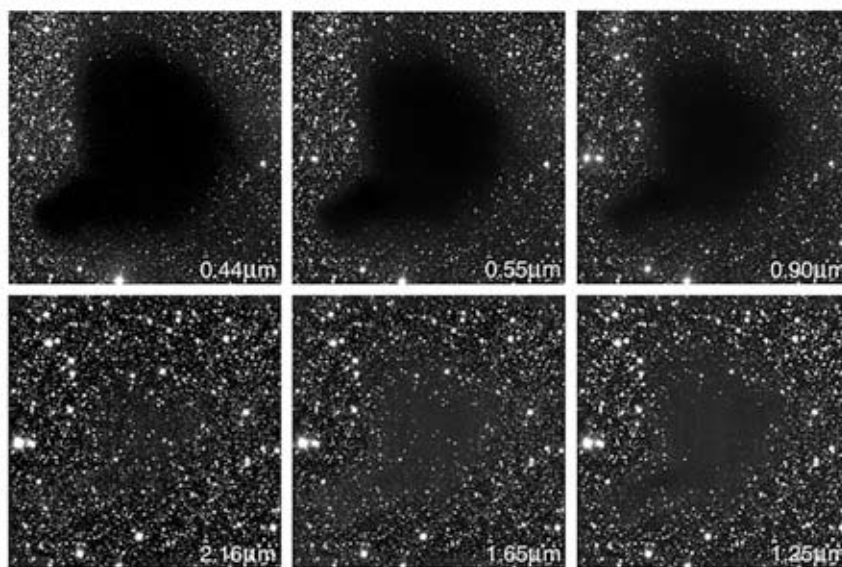
Έχει ενδιαφέρον το ακόλουθο ανέκδοτο σχετικά με την πρώτη παρατήρηση των σκοτεινών νεφελωμάτων. Το 1784 ο Herschel παρατηρούσε με το τηλεσκόπιό του, αστέρες σε διάφορες περιοχές του ουρανού. Η αδελφή του Καρολίνα κρατούσε σημειώσεις δίπλα του. Μια στιγμή

μέσα στη νύχτα ο Herschel γυρνά και έκπληκτος λέγει στην αδελφή του: "Hier ist wahrhaftig ein Loch im Himmel!" (Εδώ φαίνεται καθαρά μια τρύπα στον Ουρανό) ! Τα σκοτεινά νεφελώματα (ή μοριακά νεφελώματα όπως τα καλούμε σήμερα) είχαν «ανακαλυφθεί» εκείνη τη στιγμή! Ο Herschel δεν έδωσε ιδιαίτερη σημασία στην ανακάλυψή του αυτή γιατί πίστευε ότι δεν είχε ανακαλύψει τίποτα ιδιαίτερα από μια τρύπα στον ουρανό. Αντίθετα η Καρολίνα έδωσε περισσότερη σημασία στην παρατήρηση αυτή και συνέχισε με τη βοήθεια του ανιψιού της, John Herschel, τα επόμενα χρόνια δημιουργώντας τον πρώτο κατάλογο σκοτεινών νεφελωμάτων. Το ότι τα σκοτεινά νεφελώματα δεν ήταν απλά τρύπες στην κατανομή των αστερών στον ουρανό αλλά περιοχές που εμποδίζουν να δούμε τους αστέρες πίσω τους έγινε κατανοητό μόνο στις αρχές του 20ου αιώνα, ιδιαίτερα χάρη στους αστρονόμους Barnard (Lick Observatory, ΗΠΑ) και Wolf (Heidelberg). Αργότερα (1947), ο Bart Bok επεσήμανε ότι οι πυκνές αυτές περιοχές ήταν στο στάδιο της κατάρρευσης για να δημιουργήσουν αστέρες.

Τα σκοτεινά μοριακά νέφη (ΣΜΝ) είναι οι πιο κρύες και απομονωμένες περιοχές του Σύμπαντος. Ένα τέτοιο σκοτεινό μοριακό νεφέλωμα ευρίσκεται στον αστερισμό του Οφιούχου και έχει το κωδικό όνομα Barnard 68 (Εικόνα 3). Το γεγονός ότι δεν φαίνονται καθόλου αστέρες στο κέντρο του οφείλεται στο ότι το Barnard 68 είναι σχετικά κοντά και οι υπολογισμοί όντως το θέτουν σε απόσταση περί τα 500 έτη φωτός και με διάμετρο περί το μισό έτος φωτός. Δεν γνωρίζουμε πως ακριβώς σχηματίζονται αυτά τα νεφελώματα αλλά αυτό που φαίνεται όντως να συμβαίνει είναι ότι αυτά τα ΣΜΝ είναι οι θέσεις γέννησης νέων αστερών. Είναι ωστόσο δυνατό να δούμε διαμέσου αυτού του ΣΜΝ στο υπέρυθρο μέρος του φάσματος.

4. Οι γεννήτορες των άστρων: υπέρπυκνα νεφελώματα μέσα σε γιγάντια μοριακά νεφελώματα

Τα γιγάντια Μοριακά Νεφελώματα (GMC) έχουν μάζα από 100.000 – 1.000.000 φορές τη μάζα του Ηλιου, διαστάσεις από δεκάδες έως εκατοντάδες έτη φωτός ενώ το κύριο συστατικό τους είναι μοριακό υδρογόνο με πυκνότητα 100-500 μόρια ανά κυβικό εκατο-



The Dark Cloud B68 at Different Wavelengths (NTT + SOFI)

ESO PR Photo 29b/99 (2 July 1999)

© European Southern Observatory



Εικόνα 3. Μήπως βλέπουμε μια τεράστια μαύρη τρύπα (διαμέτρου 0.5 έτη φωτός) μέσα στο γαλαξία μας; Ευτυχώς όχι. Αυτό που παλαιότερα θεωρούσαν ως μαύρη τρύπα στο γαλαξία οι αστρονόμοι αποδείχθηκε ότι είναι ένα σκοτεινό μοριακό νεφέλωμα. Πρόκειται για μια μεγάλη συμπύκνωση αερίου και σκόνης που απορροφά πρακτικά όλο το ορατό φως που εκπέμπουν οι αστέρες του πεδίου (αστέρες που βρίσκονται πίσω του).

<http://www.eso.org/public/outreach/press-rel/pr-1999/phot-29-99.html>



WYN Image: T.A. Rector (NOAO/AURA/NSF) and Hubble Heritage Team (STScI/AURA/NASA)

Εικόνα 4. Η περιοχή του σκοτεινού νεφελώματος της Κεφαλής του Ίππου καλύπτει επιφάνεια πενταπλάσια αυτής της Σελήνης. Η εξαιρετική αυτή εικόνα ελήφθη με το τηλεσκόπιο των 0.9 μέτρων του αστεροσκοπίου του Kitt Peak (ΗΠΑ). Το τελικό χρώμα οφείλεται στο συνδυασμό ειδών σε φίλτρα γραμμών εκπομπής Υδρογόνου-α (κόκκινο), Οξυγόνου, [OIII] (πράσινο) και θείου [SII] (μπλέ) [T.A. Rector (NOAO/AURA/NSF) and Hubble Heritage Team (STScI/AURA/NASA)].

στό. Επίσης περιέχουν μονοξείδιο του άνθρακα, αμμωνία, αμινοξέα, αιθανόλη, πολυ-αρωματικούς υδρογονάνθρακες, και περίπου το 1% της μάζας τους είναι πολύτιμη σκόνη γιατί αυτή προστατεύει τα μόρια από την επιβλαβή υπεριώδη ακτινοβολία. Ένας συνάδελφός μου υπολόγισε ότι στο νεφέλωμα B2 στον Τοξότη στο κέντρο του γαλαξία περιέχονται περί τα 10^{28} μπουκάλια ούισκι!

Ένα τέτοιο νεφέλωμα είναι και αυτό της Κεφαλής του Ίππου που ευρίσκεται στον αστερισμό του Ωρίωνος σε απόσταση περίπου 1600 ετών φωτός και είναι μέρος ενός πυκνού αερίου νεφελώματος μπροστά από ένα ενεργό νεφέλωμα σχηματισμού νέων αστερών με τον κωδικό IC434 (Εικόνα 4). Το φως του νεφελώματος διεγείρεται από τους λαμπρούς αστέρες του ξίφους του Ωρίωνα, σ (πάνω) και ζ (αριστερά). Οι ραβδώσεις στα χρώματα οφείλονται στα μαγνητικά πεδία του νεφελώματος. Περισσότεροι αστέρες είναι ορατοί στο άνω μέρος του νεφελώματος παρά στο κάτω όπου οι αστέρες δεν φαίνονται λόγω του σκοτεινού νεφελώματος του οποίου το άκρο φθάνει στο φωτεινό σύνορο στο μέσον της εικόνας.

5. Γένεση αστερών από την ενδοαστρική ύλη

Ένα άλλο γιγάντιο Μοριακό Νεφέλωμα βρίσκεται στον Ωρίωνα (Εικόνα 5) και περιέχει εκατοντάδες δίσκους αερίου που στροβιλίζονται γύρω από τους περισσότερους νεογέννητους αστέρες του, αποτελώντας ισχυρή ένδειξη ότι η διαδικασία γέννησης άστρων είναι μια συνηθισμένη διαδικασία μέσα στο Γαλαξία μας. Το νεφέλωμα αυτό οφείλει το φως του στα λαμπρά άστρα του Τραπεζίου τα οποία εκλύουν τεράστιες ποσότητες υπεριώδους ακτινοβολίας με την οποία ιονίζουν το αέριο του νεφελώματος, ενώ όταν τα ηλεκτρόνια επανασυνδέονται με τους πυρήνες το νεφέλωμα ακτινοβολεί. Το νεφέλωμα του Ωρίωνος αποτελεί συγχρόνως και ένα αστρικό βρεφοκομείο με εκατοντάδες αστρικά νεογνά διασπαρμένα σε μια έκταση διαστάσεων περί τα 10 έτη φωτός. Οι περισσότεροι αστέρες του νεφελώματος έχουν ηλικία μόνο μερικά εκατομμύρια έτη, ενώ προβλέπεται να ζήσουν τουλάχιστον χίλιες φορές περισσότερο. Επομένως, στην ανθρώπινη κλίμακα είναι «βρέφη», ηλικίας μόλις μερικών μηνών.

Είναι ενδιαφέρον να παρατηρήσουμε ότι κατά τη γένεση των αστερών από



Εικόνα 5. Το κεντρικό μέρος του νεφελώματος του Ωρίωνος σε απόσταση περί τα 1500 έτη φωτός από τη Γη, καλύπτει μια περιοχή του ουρανού ίση με το 5% της πανσελήνου. Περιέχει περί τους 1000 νεογέννητους αστέρες και εκατοντάδες πρωτοπλανητικούς δίσκους που θεωρούνται εμβρυώδη πλανητικά συστήματα. Στην σύνθετη αυτή εικόνα, με παρατηρήσεις του διαστημικού τηλεσκοπίου Hubble στο ορατό/υπεριώδες και του διαστημικού τηλεσκοπίου Spitzer στο υπέρυθρο, οι κιτρινωπές τελείες (Spitzer) είναι εμβρυώδεις αστέρες ορατοί στο υπέρυθρο φως μέσα από τα κουκούλια σκόνης και αερίου που τους περιβάλλουν, οι πράσινες τελείες (Hubble) είναι νεογέννητοι αστέρες, ενώ οι μπλε τελείες είναι αστέρες που παρεμβάλλονται ανάμεσα στο νεφέλωμα και εμάς. Τα χρώματα αναπαριστούν την ένταση της ακτινοβολίας ως εξής: ακτινοβολία που εκπέμπεται σε μήκη κύματος 0.43, 0.50, και 0.53 μικρά με μπλε χρώμα, σε μήκη κύματος 0.6, 0.65, and 0.9 μικρά με πράσινο χρώμα, σε μήκη κύματος 3.6 μικρά με πορτοκαλί χρώμα και σε μήκη κύματος 8.0 μικρά με κόκκινο χρώμα από αρωματικούς υδρογονάνθρακες. Στο κέντρο είναι οι αστέρες του Τραπεζίου του Ωρίωνα. (Spitzer and Hubble Space Telescopes, T. Megeath and M. Robberto).

Εικόνα: <http://www.spitzer.caltech.edu/Media/releases/ssc2006-21/ssc2006-21a.shtm>

την ενδοαστρική ύλη η πυκνότητα αυξάνει κατά 24 τάξεις μεγέθους: Από περίπου 1 άτομο ή μόριο ανά κυβικό εκατοστό στην ενδοαστρική ύλη, η πυκνότητα αυξάνει στα 100 μόρια ανά κυβικό εκατοστό στα γιγάντια μοριακά νεφέλωμα, στα 10.000 μόρια ανά κυβικό εκατοστό στους πυκνότερους πυρήνες των ΓΜΝ ενώ μετά την κατάρρευση φθάνει στους πρωτοαστρικούς πυρήνες στα 100.000 μόρια ανά κυβικό εκατοστό και τελικά στους αστέρες στα 10^{24} άτομα/cm³. Για σύγκριση, η πυκνότητα της ατμόσφαιρας γύρω μας είναι περί τα 10^{19} μόρια/cm³. Αυτή η αύξηση της πυκνότητας πλέον των 20 τάξεων μεγέθους σημαίνει μια σμίκρυνση των αποστάσεων πλέον των 100 εκατομμυρίων. Πώς όμως γίνεται αυτό;

Σχηματισμός αστερών συμβαίνει όταν ένα γιγαντιαίο μοριακό νεφέλωμα διαστάσεων εκατοντάδων ετών φωτός που περιέχει κατά 90% άτομα υδρογόνου και 10% άτομα ηλίου και των υπόλοιπων βαρύτερων στοιχείων, καθώς επίσης νερό, αμμωνία, οργανικές ενώσεις, κλπ., καταρρέει λόγω του δικού του βάρους. Το έναυσμα για την κατάρρευση αυτή αποτελεί η έκρηξη ενός γειτονικού υπερκαινοφανούς. Λόγω του νόμου διατήρησης της στροφορμής, καθώς το νεφέλωμα καταρρέει περιστρέφεται ολοένα και ταχύτερα. Τότε, όπως ένα αρχικά σφαιρικό κομμάτι ζύμης που περιστρέφεται στον αέρα από ένα σεφ πλατύνεται και παίρνει τη μορφή της πίτσας, έτσι και το ταχύτατα περιστρεφόμενο νεφέλωμα παίρνει ένα δισκο-

ειδές σχήμα. Στο κέντρο του δίσκου ευρίσκεται ο πρωτοαστέρας, ο οποίος μόνο μετά από μερικές δεκάδες εκατομμύρια χρόνια και συνεχή προσαύξηση ύλης από τον δίσκο του αποκτά στο κέντρο του συνθήκες (υψηλή θερμοκρασία και πυκνότητα) κατάλληλες για την έναρξη θερμοπυρηνικών αντιδράσεων.

Καθώς το άστρο προσπαθεί να αναδυθεί μέσα από την αέρια μήτρα του, από τον δίσκο εκτοξεύονται σαν περίτεχνα πυροτεχνήματα λεπτοί πίδακες πλάσματος που διαδίδονται ανέπαφοι για αρκετά έτη φωτός, πολλές χιλιάδες φορές την απόσταση Γης-Ήλιου. Οι πίδακες αυτοί είναι πλάσμα του δίσκου το

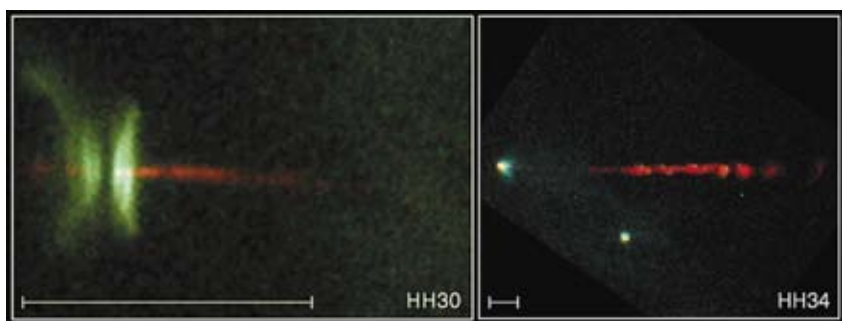
οποίο επιταχύνεται μακριά από το δίσκο λόγω μαγνητοπεριστροφικών δυνάμεων. Το φαινόμενο αυτό είναι ανάλογο με εκείνο της ολίσθησης χαντρών περασμένων σε σύρματα τα οποία είναι κολλημένα σε ένα δίσκο και σχηματίζουν κάποια γωνία με τον άξονα περιστροφής του δίσκου².

6. Τα πρώτα εκατομμύρια έτη της ζωής ενός άστρου

Περιγραφικά και συνοπτικά, τα πρώτα εκατομμύρια χρόνια της ζωής ενός άστρου ακολουθούν τις ακόλουθες φάσεις και διαδικασίες³:

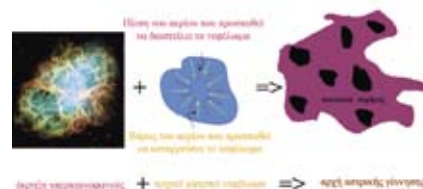


Εικόνα 6. Δύο πρωτοπλανητικοί δίσκοι, εμβρυώδη πλανητικά συστήματα, στο νεφέλωμα του Ωριώνος. Αριστερά το σχηματιζόμενο άστρο καλύπτεται από τη σκόνη του δίσκου ενώ δεξιά ο πρωτοαστέρας φαίνεται σαν η ερυθρή φωτεινή κηλίδα που περιβάλλεται από το δίσκο. (Διαστημικό Τηλεσκόπιο, WFPC2, McCaughrean & O'Dell (Rice university), NASA, 1995). https://seds.org/Messier/more/m042_hst2.html



Εικόνα 7. Τυπικοί πίδακες πλάσματος που αναβλύζουν από αστρικά νεογνά. Αριστερά: Το τυπικό σύστημα πρωτοαστέρα/δίσκου/πιδάκων πλάσματος HH 30, σε απόσταση 450 ετών φωτός στον αστερισμό του Ταύρου. Το φως του πρωτοαστέρα, που είναι κρυμμένος από τον περιβάλλοντα δίσκο, φωτίζει τον δίσκο στα άκρα του. Ο ερυθρώπιδας αναβλύζει από το κέντρο του δίσκου και πιθανώς από τον πρωτοαστέρα (Διαστημικό Τηλεσκόπιο, WFPC2, NASA, 1995, C. Burrows). Δεξιά: το παρόμοιο σύστημα HH34 στο τρεις φορές μακρινότερο νεφέλωμα του Ωριώνος με τους χαρακτηριστικούς ισαπέχοντες φωτεινούς κόμβους που απομακρύνονται με ταχύτητα περί το 300 χιλιόμετρα το δευτερόλεπτο (Διαστημικό Τηλεσκόπιο, WFPC2, NASA, J. Hester). Η γραμμή σε κάθε εικόνα αντιστοιχεί σε 1000 φορές την απόσταση Γης-Ήλιου. Εικόνα: <http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/1995/24/image/a>

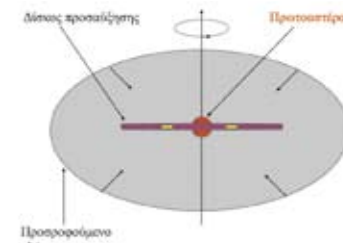
1. Η ζωή ξεκινά με το θάνατο



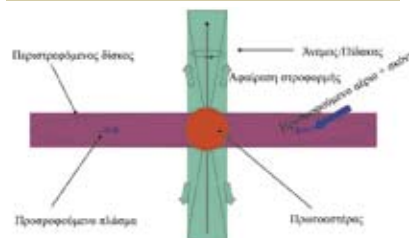
2. Ο μοριακός πυρήνας καταρρέει



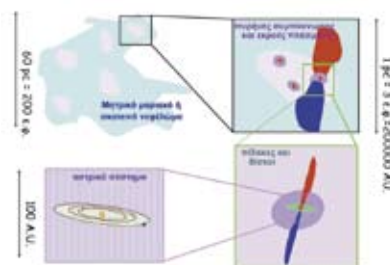
3. Σχηματίζεται ένα σύστημα αστέρα-δίσκου



4. Τελικά αναδύεται ο νέος αστέρας, αφού αφαιρέσουν στροφορμή οι πίδακες.



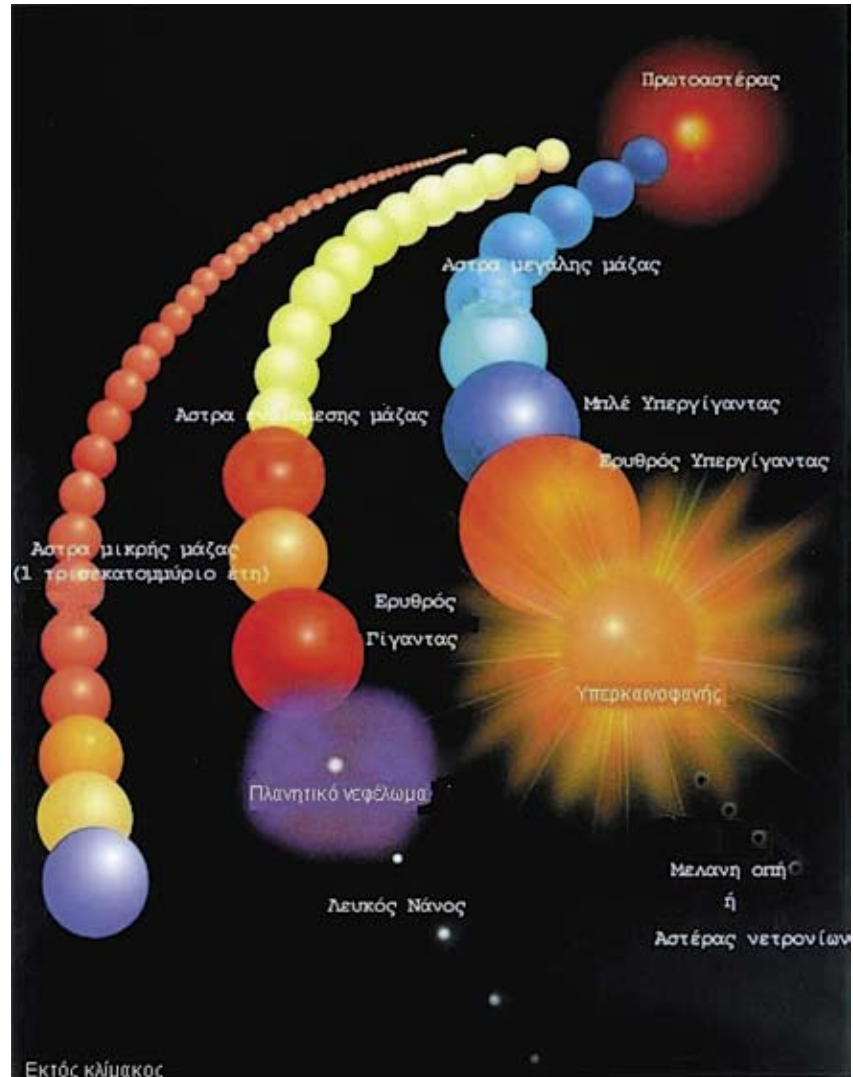
Η διαδικασία αυτή ξεκινά από το μητρικό νεφέλωμα που έχει διαστάσεις ετών φωτός και καταλήγει στο σχηματισμό του πρωτοαστέρα και των πλανητών, δηλ. καταλήγει, σε κλίμακα αστρονομικών μονάδων που είναι εκατοντάδες χιλιάδες φορές μικρότερη της αρχικής^{4,5}.



7. Η μετά θάνατον αστρική ζωή: τα αστρικά πτώματα

Αυτό που καθορίζει την λαμπρότητα, τη διάρκεια και το τέλος της ζωής ενός άστρου είναι η μάζα του. Ερυθροί και αμυδροί αστέρες μικρότερης μάζας από τον Ήλιο, καίνε θερμοπυρηνικά τα καύσιμά τους με εξαιρετικά αργό ρυθμό, με αποτέλεσμα να ζουν τρισεκατομμύρια χρόνια. Για παράδειγμα, ο εγγύτατος του Κενταύρου, παρά το ότι είναι το κοντινότερο άστρο σε μάζα σε απόσταση 4.25 έτη φωτός, είναι ένας εξαιρετικά αμυδρός ερυθρωπός αστέρας, του οποίου η λαμπρότητα είναι ίση με το ένα δεκάκις χιλιοστό της λαμπρότητας του Ήλιου. Από το άλλο μέρος, κυανοί αστέρες μεγαλύτερης μάζας από τον Ήλιο, όπως π.χ. ο Αρκτούρος, καίνε τα θερμοπυρηνικά καύσιμά τους με εξαιρετικά ταχείς ρυθμούς, με αποτέλεσμα να είναι εξαιρετικά βραχύβιοι και να ζουν μόνο μερικά εκατομμύρια χρόνια. Για παράδειγμα, οι μεγάλης μάζας αστέρες του Τραπεζίου του Ωρίωνα είναι περίπου 10.000 φορές λαμπρότεροι του Ήλιου. Μόνο αστέρες ενδιάμεσης μάζας σαν τον Ήλιο που καίνε σχετικά συντηρητικά τα καύσιμά τους και ακτινοβολούν στο κίτρινο είναι εξαιρετικά μακρόζωοι, δηλ., η ζωή τους εκτείνεται σε μερικά δισεκατομμύρια έτη.

Όταν εξαντληθεί το υδρογόνο στον αστρικό πυρήνα, οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις σταματούν ελλείψει καυσίμου. Τότε, ο πυρήνας καταρρέει ελλείψει δύναμης ικανής να αντισταθεί στην βαρύτητα. Στη συνέχεια, και ενώ ο πυρήνας συνεχίζει να καταρρέει, η παραγόμενη θερμότητα δημιουργεί στα περιφερειακά στρώματα τις υψηλές θερμοκρασίες των περίπου 100 εκατομμυρίων βαθμών που απαιτούνται για την καύση του ηλίου σε άνθρακα, και η ζωή του αστέρα προσωρινά παρατείνεται. Ωστόσο, η θερμότητα από την περιφερειακή καύση του ηλίου και την κατάρρευση του πυρήνα προκαλεί μια απότομη διαστολή και επαγόμενη ψύξη των εξωτερικών στρωμάτων του αστέρα ο οποίος μετατρέπεται έτσι σε ένα ερυθρό γίγαντα. Συγχρόνως, τεράστιες ποσότητες του πλάσματος των εξωτερικών στρωμάτων του αστέρα χάνονται με τη μορφή ενός αργού αλλά πυκνού ανέμου που εκτοξεύεται κυρίως στο ισημερινό επίπεδο. Όταν σε μερικές εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια η θερμοπυρηνική καύση του ηλίου επεκταθεί σε όλο τον πυρήνα και αυτός εξαντλήσει τα αποθέματα του ηλίου, ο πυρήνας



Εικόνα 8. Οι διάφορες δυνατότητες αστρικής εξέλιξης σύμφωνα με την μάζα του άστρου. Αστέρες χαμηλότερης μάζας από τον Ήλιο είναι σχεδόν ατελείωτοι, αστέρες ηλιακής μάζας έχουν καύσιμα για δισεκατομμύρια έτη και στο τέλος καταλήγουν στην αστρική στάκτη των λευκών νάνων, ενώ αστέρες με μάζα μεγαλύτερη της ηλιακής μετά από μερικά εκατομμύρια έτη εκρήγνυνται ως υπερκαινοφανείς αφήνοντας ένα άστρο νετρονίων ή μια μελανή οπή.

αρχίζει αναπόφευκτα πάλι να καταρρέει ενώ τα εξωτερικά στρώματα του αστέρα διαστέλλονται περισσότερο. Επειδή όμως το άστρο έχασε σημαντικό μέρος της μάζας του στα προηγούμενα εξελικτικά του στάδια, η κατάρρευση του πυρήνα του δεν είναι ικανή να του επιφέρει την απαιτούμενη θερμοκρασία του περίπου ενός δισεκατομμυρίου βαθμών για να καεί ο άνθρακας σε βαρύτερα στοιχεία. Ο μόνος τρόπος να σταματήσει η κατάρρευση του πυρήνα είναι μόνο με την βοήθεια της κβαντομηχανικής πίεσης των ηλεκτρονίων. Αυτό γίνεται όταν ο πυρήνας ενός άστρου ηλιακής μάζας συρρικνωθεί στις διαστάσεις της Γης, σχηματίζοντας έτσι τον γνωστό λευκό νάνο, δηλ., ουσιαστικά αστρική στάκτη όπου ωστόσο ένα κυβικό εκατοστό της ύλης ζυγίζει περίπου ένα τόνο. Η ατμό-

σφαιρα του λευκού αυτού νάνου είναι όμως εξαιρετικά θερμή με αποτέλεσμα η εκπεμπόμενη υπεριώδης ακτινοβολία να διεγείρει σε ακτινοβολία την δακτυλιοειδή συμπύκνωση στο ισημερινό επίπεδο που έχει σαρώσει ένας ταχύς αστρικός άνεμος που εκπέμπεται πίσω από τον αργό προγενέστερο άνεμο στο τελικό στάδιο της δημιουργίας του ερυθρού γίγαντα. Έτσι δημιουργούνται τα εντυπωσιακά πλανητικά νεφελώματα, που είναι τα πλέον φαντασμαγορικά αστρικά πυροτεχνήματα που έχουμε ποτέ παρατηρήσει.

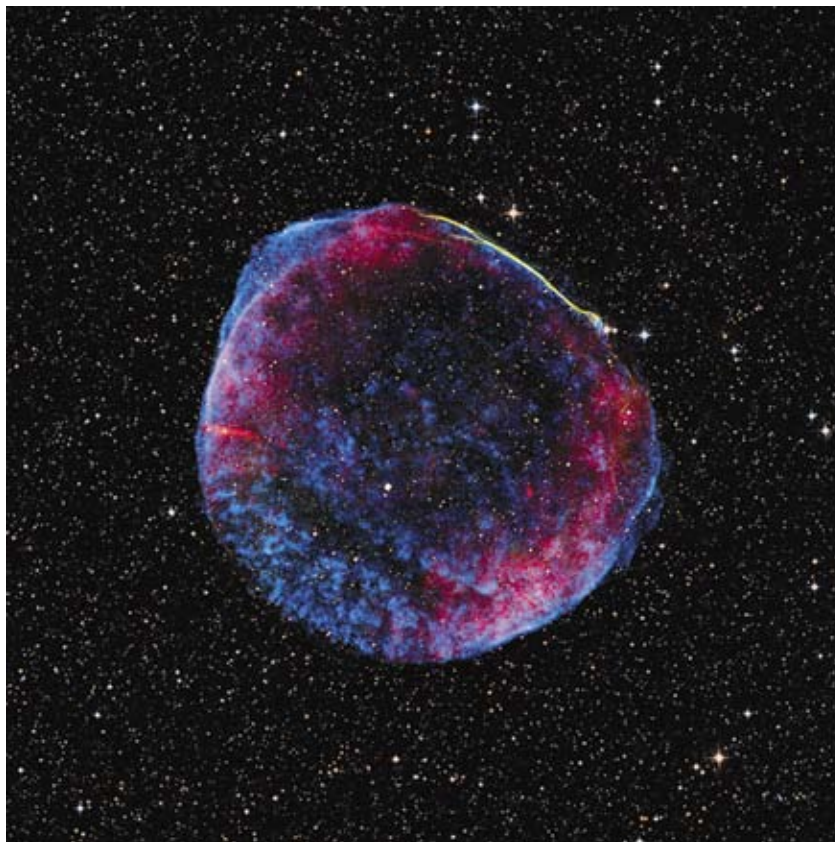
Όπως συζητήσαμε πριν, όταν ένα άστρο ηλιακής μάζας ξοδέψει όλο το ήλιο στον πυρήνα του, η διαδικασία παραγωγής ενέργειας τερματίζεται γιατί το άστρο δεν διαθέτει αρκετή μάζα έτσι ώστε με κατάρρευση να επιτύχει

τις υψηλές θερμοκρασίες που απαιτούνται για την καύση του στοιχείου ηλίου σε άνθρακα. Όταν όμως πρόκειται για μεγάλης μάζας αστέρες, π.χ. άστρο 10 ηλιακών μαζών, μετά από την καύση του ηλίου ο πυρήνας έχει αρκετή μάζα η οποία καταρρέει και επιτυγχάνονται κατάλληλες θερμοκρασίες έτσι ώστε να καύσει σε διαδοχικά στρώματα ήλιο σε άνθρακα, άνθρακα σε πυρίτιο, κλπ., μέχρι την παραγωγή του σιδήρου. Ο σίδηρος έχει τον πλέον σταθερό πυρήνα από όλα τα χημικά στοιχεία έτσι ώστε να απαιτείται να ξοδευτεί περισσότερη ενέργεια για την σύντηξη των πυρήνων του από όση ενέργεια παράγεται. Επομένως, μετά την παραγωγή σιδήρου ο αστρικός πυρήνας φθάνει σε ενεργειακό αδιέξοδο και είναι καταδικασμένος σε καταστροφή με δύο τελικά προϊόντα.

Όταν ο πυρήνας είναι σχετικά ελαφρύς, ολίγων ηλιακών μαζών, τα πρωτόνια και τα ηλεκτρόνια συνενώνονται σχηματίζοντας νετρόνια και το τελικό προϊόν είναι ένα άστρο νετρονίων. Το μέγεθος ενός τέτοιου άστρου είναι μερικών μόνο χιλιομέτρων, αλλά η πυκνότητά του είναι τρομακτικά υψηλή – μια μικρή κουταλιά αυτής της ύλης ζυγίζει ένα δισεκατομμύριο τόνους και ολόκληρος ο πληθυσμός της Γης αν στέλλονταν σε ένα αστέρα νετρονίων θα συμπίεζόταν τόσο ώστε να χωρούσε μέσα σε μια ασπίρη. Από το άλλο μέρος, οι βαρύτεροι πυρήνες, άνω των περίπου 10 ηλιακών μαζών καταλήγουν στις περίφημες μελανές οπές.

Η κατάρρευση του πυρήνα σιδήρου δημιουργεί ένα ισχυρό κρουστικό κύμα που διαλύει και εκσφενδονίζει κυριολεκτικά τα εξωτερικά στρώματα του άστρου στο διάστημα. Έχουμε τότε ένα υπερκαινοφανή. Κατά τη διάρκεια της έκρηξης, η σύγκρουση διαφόρων πυρήνων οδηγεί στο σχηματισμό όλων των βαρύτερων του σιδήρου στοιχείων, όπως μόλυβδο, χαλκό, χρυσό, ουράνιο, κλπ. Έτσι, η έκρηξη του υπερκαινοφανούς διασκορπίζει στο διάστημα όλα τα στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν κατά την επόμενη αστρική γενιά για να σχηματίσουν νέα άστρα, πλανήτες, ζωή, κλπ. Π.χ., τα βαριά στοιχεία που ευρίσκονται στα σώματά μας προέρχονται από μια τέτοια ακριβώς διαδικασία.

Σχετικά πρόσφατα, τον Φεβρουάριο του 1987 μια τέτοια έκρηξη υπερκαινοφανούς συνέβη στο γειτονικό μας (απόστασης 167.000 ετών φωτός) Μεγάλο Νέφος του Μαγγελάνου από έναν κυ-



Εικόνα 7. Το υπόλειμμα του υπερκαινοφανούς του 1006, σε μια απόσταση περί τα 7.000 έτη φωτός, που παρατηρήθηκε πριν 1003 έτη από Ευρωπαίους, Κινέζους και Άραβες, ήταν λαμπρότερο της Αφροδίτης κατά την διάρκεια της ημέρας για εβδομάδες. Ο λευκός νάνος ενός διπλού συστήματος προσρόφησε αρκετή ύλη από αυτόν έτσι ώστε να καταστεί ασταθής και τελικά να εκραγεί διασκορπίζοντας στο διάστημα στοιχεία όπως ο σίδηρος που σχηματίστηκαν στο εσωτερικό του συνοδού του. Φαίνεται εδώ σε τρία διαφορετικά μήκη κύματος: ορατό (κίτρινο), ακτίνες-Χ (μπλέ), ραδιοκύματα (ερυθρό. (Chandra Observatory, NASA).
<http://chandra.harvard.edu/photo/2008/sn1006c/>

ανό υπεργίγαντα 20 ηλιακών μαζών. Μια τεράστια ροή νετρίνων συνόδευσε την έκρηξη αυτού του υπερκαινοφανούς η οποία και ανιχνεύθηκε εδώ στη Γη. Μια παλαιότερη παρόμοια έκρηξη κατεγράφη το 1054 από Κινέζους αστρονόμους. Το νεφέλωμα του Καρκίνου που παρατηρούμε σήμερα είναι ότι απέμεινε από το γιγάντιο εκείνο άστρο που διαλύθηκε και άφησε στη θέση του ένα άστρο νετρονίων το οποίο περιστρέφεται 30 φορές κάθε δευτερόλεπτο, δηλ., ένα *πάλσαρ*. Σύγχρονες παρατηρήσεις με το Διαστημικό Τηλεσκόπιο δείχνουν ότι το περίπου 10 ετών φωτός διαστάσεων πλάσμα του νεφελώματος αυτού διεισδύεται και ακτινοβολεί με λαμπρότητα 100.000 ήλιων σε όλα τα μήκη κύματος, από τον κεντρικό πάλσαρ, όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα. Δύο συμμετρικοί και πολύ καλά εστιασμένοι πίδακες πλάσματος αναδύονται από τον κεντρικό πάλσαρ, όπως φαίνεται από την δεύτερη εικόνα που δείχνει την εκπομπή στις ακτίνες-Χ.

Στην εικόνα 10 φαίνεται το νεφέλωμα ανάκλασης *IC 2118* (νεφέλωμα της Κεφαλής της Μάγισσας) σε απόσταση περί τα 1000 έτη φωτός, που ακτινοβολεί ανακλώντας το φως του *Rigel*, του λαμπρότερου αστέρα στο πάνω δεξί μέρος της εικόνας. Η ανάκλαση γίνεται από τη λεπτή σκόνη που υπάρχει διάχυτη στο νεφέλωμα.

Ο *RIGEL* (β του Ωρίωνα), σε απόσταση 775 ετών φωτός, έχει απόλυτη λαμπρότητα 40,000 Ήλιων. Είναι ένας «κυανούς υπεργίγαντας», δηλ., ένας πολύ θερμός αστέρας με επιφανειακή θερμοκρασία 11,000 Kelvin, περίπου διπλάσια αυτής του Ήλιου. Λόγω αυτής της ψηλότερης θερμοκρασίας έχει και το γαλαζωπό χρώμα που έρχεται σε αντίθεση με το πορτοκαλί του ψυχρότερου ερυθρού γίγαντα Betelgeuse. Εάν προστεθεί και η υπεριώδης ακτινοβολία του, η λαμπρότητά του *Rigel* φθάνει νάναι 66,000 της ηλιακής, μια ακτινοβολία που προέρχεται από ένα αστέρα 70 φορές μεγαλύτερο σε διάμετρο του Ήλιου (δηλ. περίπου



Εικόνα 10. Το νεφέλωμα της «Κεφαλής της Μάγισσας» έχει διάμετρο περίπου 10 έτη φωτός. Το γαλάζιο χρώμα του νεφελώματος δεν οφείλεται μόνο στο γαλάζιο χρώμα του κυανού γίγαντα Rigel αλλά κυρίως στο ότι τα σωματίδια της σκόνης ανακλούν το γαλάζιο φως περισσότερο από ότι το κόκκινο. Η ίδια φυσική διαδικασία (σύμφωνα με το φυσικό νόμο του Rayleigh) προκαλεί το γαλάζιο χρώμα του ουρανού, αν και σε αυτή την περίπτωση τα μόρια που σκεδάζουν το φως την μέρα είναι άζωτο και οξυγόνο.

<http://apod.nasa.gov/apod/ap061211.html>

όση η απόσταση του πλανήτη Ερμή από τον Ήλιο). Με μάζα 17 φορές της Ηλιακής, ο Rigel αργοπεθαίνει καίγοντας ήλιο (He) σε άνθρακα και οξυγόνο και τελικά θα εκραγεί δημιουργώντας έναν σπάνια βαρύ λευκό νάνο οξυγόνου-νέου. Ο Rigel είναι μέλος μιας αστρικής ομάδας της οποίας όλα τα μέλη έχουν κοινή προέλευση και γέννηση. Η ομάδα αυτή περιέχει τους αστέρες της ζώνης και του ξίφους του Ωρίωνα, καθώς και πολλούς από τους άλλους κυανούς αστέρες του αστερισμού του Ωρίωνα.

8. Μερικές ευνοϊκές «συμπτώσεις» κατά την αστρική γένεση και τον κύκλο της ζωής των αστέρων

Ένας γενικότερος προβληματισμός που θέτει το παρόν άρθρο είναι και ο ακόλουθος. Η δημιουργία και εξέλιξη των αστέρων είναι μια συστηματική φυσική

πορεία από την αταξία στην τάξη. Αυτή η μακρά και συνεχώς επαναλαμβανόμενη φυσική διαδικασία, ξεκινά από ένα ακανόνιστο, κρύο, σκοτεινό και ετερόφωτο νεφέλωμα αερίου και σκόνης για να σχηματίσει ένα σφαιρικό, θερμό, λαμπρό και αυτόφωτο κεντρικό άστρο, που ακόμη και όταν εξαντληθεί και σβήσει θα προσπαθήσει να γονιμοποιήσει μια νέα γενιά άστρων. Επιπλέον και κυριότερο, γύρω από αυτά τα δημιουργήματα (αστέρες) έχουν παρατηρηθεί να περιφέρονται σε ασφαλείς αποστάσεις από το κεντρικό inferno πλανήτες (πλέον των 300 μέχρι σήμερα) οι οποίοι ακολουθούν τους αρμονικούς νόμους του Kepler. Και, τουλάχιστον σε μια περίπτωση εξ αυτών, το Ηλιακό μας σύστημα, υπάρχει ένας πλανήτης στην κατάλληλη απόσταση από το άστρο, όπου ο καλύτερος χημικός διαλύτης, το νερό, ευρίσκεται στις τρεις δυνατές μορφές του, υπάρχει ατμόσφαιρα και προστατευτικό στρώμα του όζοντος, υπάρχει η σωστή κλίση του άξονα περιστροφής του πλανήτη που οδηγεί

στις εναλλασσόμενες εποχές, κλπ, κλπ. Δηλ., υπάρχει μια μακρά σειρά από ευτυχείς «συγκυρίες» που οδήγησαν στην ανάπτυξη μιας οργανωμένης ανώτερης και ευφυούς ζωής η οποία προσπαθεί να κατανοήσει το γιατί και το πώς όλης αυτής της διαδικασίας. Με άλλα λόγια, να ψηλαφίσει στο σκοτάδι τα αποτυπώματα του Δημιουργού της. Στη διαδικασία αυτή δεν μπορούμε παρά να επισημάνουμε μια μεγάλη αλυσίδα από «συμπτώσεις». Ας αναπτύξουμε σύντομα δύο εξ αυτών.

Καταρχήν, ένα μεγάλο εμπόδιο για τον σχηματισμό του άστρου αποτελεί ο νόμος διατήρησης της στροφορμής. Όλοι γνωρίζουμε το νόμο διατήρησης της ορμής που είναι υπεύθυνος για τα τόσα αυτοκινητιστικά ατυχήματα. Υπάρχει ένας παρόμοιος νόμος, αυτός της διατήρησης της στροφορμής ενός περιστρεφόμενου σώματος. Η στροφική ορμή ορίζεται σαν το γινόμενο της μάζας του σώματος, της μέσης περιστροφικής του ακτίνας και της γωνιακής του ταχύτητας. Σύμφωνα με τη Φυσική, αυτή η ποσότητα παραμένει σταθερή όταν δεν επενεργούν πάνω στο σώμα ροπές εξωτερικών δυνάμεων. Καθώς όμως το νεφέλωμα καταρρέει λόγω της βαρύτητας μικραίνοντας σημαντικά τις διαστάσεις του (από έτη φωτός σε εκατομμυριοστά του έτους φωτός, δηλ., την αστρική ακτίνα), εφόσον η στροφορμή του παραμένει σταθερή θα έπρεπε η γωνιακή περιστροφική ταχύτητα του σώματος να αυξηθεί κατά 12 τάξεις μεγέθους, κάτι όμως που θα σταματούσε τη δημιουργία του άστρου. Πώς λοιπόν το άστρο καταφέρνει να ξεπεράσει αυτό το εμπόδιο και να φθάσει στις μικρές αστρικές διαστάσεις; Αυτό γίνεται με τους πίδακες που προαναφέραμε οι οποίοι παίζουν το ρόλο του “ex macina deus” και κλέβουν στροφορμή, αφήνοντας έτσι ελεύθερη τη βαρύτητα να φτιάξει το άστρο. Έτσι, οδηγούμαστε στην υπέρβαση (αλλά όχι την κατάργηση) του νόμου της στροφορμής και τελικά στην αστρική δημιουργία⁶.

Σε πιο βασικό και θεμελιώδες επίπεδο, αξιοσημείωτη είναι η ελαφρότητα της βαρύτητας σε σχέση με τις άλλες δυνάμεις της Φύσεως. Συγκεκριμένα, τα συστατικά της ύλης, όπως την γνωρίζουμε σήμερα, διέπονται από τις ισχυρές πυρηνικές, τις ηλεκτρομαγνητικές, τις ασθενείς πυρηνικές και τις βαρυτικές δυνάμεις. Αν βαθμολογούσαμε την ένταση της ισχυρής πυρηνικής δύναμης με 1, τότε η ένταση της ηλεκτρομαγνητικής δύναμης θα ήταν 10^{-2} δηλαδή 100 φο-

ρές μικρότερη. Αντίστοιχα η ένταση της ασθενούς πυρηνικής δύναμης θα ήταν 10^{-13} δηλαδή 10 τρισεκατομμύρια φορές ασθενέστερη, ενώ της βαρυτικής θα ήταν 10^{-38} , δηλαδή 100 ενδεκάκις εκατομμύρια φορές ασθενέστερη. Τι σημαίνει αυτό; Απλά, εάν ο λόγος του αριθμού των πρωτονίων και του αριθμού των ηλεκτρονίων στο Σύμπαν δεν ήταν ακρι-

βώς μονάδα, αλλά διέφερε από τη μονάδα κατά ένα μέρος στα 10^{38} , οι ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις θα υπερίσχυαν των βαρυτικών και δεν θα είχαν σχηματισθεί γαλαξίες, αστέρες, πλανήτες, ζωή. Η πιθανότητα να έγινε αυτό από τύχη είναι όση το να τραβήξει ένας τυφλός μια μοναδική δραχμή που υπάρχει κρυμμένη κάπου ανάμεσα σε 10^{38} Ευρώ!

Είναι πράγματι αυτές απλά κάποιες «τυχαίες συμπτώσεις»; Την απάντηση ας δώσει ο καθένας μας, μελετώντας με προσοχή το μέγα θαύμα της Δημιουργίας που καθημερινά βιώνουμε.

Ευχαριστώ τον Μανώλη Πλειώνη για τις εύστοχες παρεμβάσεις του στο άρθρο.

Σημειώσεις

1. Για μια περιγραφή του πλαισίου της σύγχρονης και κλασικής Φυσικής, βλ. ΤΣΙΓΚΑΝΟΣ, Κ., *Εισαγωγή στη Θεωρητική Μηχανική*, Αθήνα: Εκδ. Σταμούλη 2004, σ. 23-39.
2. Για περισσότερα βλ., ΤΣΙΓΚΑΝΟΣ, Κ., *Φυσική Πλάσματος*, Αθήνα: Παν. Αθηνών, 2004.
3. Για μια λεπτομερέστερη περιγραφή, βλ., *Jets from Young Stars*, Berlin Heidelberg: Springer Lecture Notes in Physics 723, J. Ferreira, C. Dougados, E. Whelan (eds), 2006, 230 p.
4. Για μια εκλαϊκευτική παρουσίαση της γένεσης των αστερών και των πλανητών, βλ., BALLY, J. and REIPURTH, B., *The Birth of Stars and Planets*, Cambridge: Cambridge University Press, 2006, 296 p.
5. Για τις πρόσφατες εξελίξεις στο θέμα, βλ., TSINGANOS, K., RAY, T. and STUTE, M., Protostellar Jets in Context, Proceedings of an International Conference in Rhodes, 6-12 July 2008, Berlin Heidelberg: Springer Lecture Notes in Physics, 2008, 650 p.
6. Για περισσότερα βλ., ΤΣΙΓΚΑΝΟΣ, Κ., *Φυσική Πλάσματος*, Αθήνα: Παν. Αθηνών, 2004 και ΤΣΙΓΚΑΝΟΣ, Κ., *Εισαγωγή στη Θεωρητική Μηχανική*, Αθήνα: Εκδ. Σταμούλη 2004, 470 σ.

Βιβλιογραφία

1. BALLY, John and REIPURTH, Bo. *The Birth of Stars and Planets*, Cambridge: Cambridge University Press, 2006, 296
2. RAY, Tom. The First Three Million Years, in p. 3 of *Jets from Young Stars*, Berlin Heidelberg: Springer Lecture Notes in Physics 723, J. Ferreira, C. Dougados, E. Whelan (eds), 2006, 230
3. ΤΣΙΓΚΑΝΟΣ, Κανάρης, *Εισαγωγή στη Θεωρητική Μηχανική*, Αθήνα: Εκδ. Σταμούλη 2004, 470
4. ΤΣΙΓΚΑΝΟΣ, Κανάρης, *Φυσική Πλάσματος*, Αθήνα: Παν. Αθηνών, 2004, 367
5. TSINGANOS, Kanaris. Theory of MHD Jets and Outflows, in page 117 of *Jets from Young Stars*, Berlin Heidelberg: Springer Lecture Notes in Physics 723, J. Ferreira, C. Dougados, E. Whelan (eds), 2006, 230
6. TSINGANOS, Kanaris and RAY, Tom. Protostellar Jets in Context, Proceedings of International Conference in Rhodes, 6-12 July 2008, Berlin Heidelberg: Springer Lecture Notes in Physics, 200, 650
7. WEINBERG, Steven. *The First Three Minutes*, New York: Basic Books Inc., 1977, 88

Βιογραφικά στοιχεία του Κανάρη Τσίγκανου



Καθηγητής Αστροφυσικής του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών, έλαβε Πτυχίο Φυσικής από το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσ/νίκης (1974), Μάστερς (1976) και Διδακτορικό Φυσικής (1980) από το Πανεπιστήμιο του Chicago (ΗΠΑ). Δίδαξε Φυσική στα Πανεπιστήμια Chicago και Harvard ΗΠΑ, Λουβαίνης Βελγίου, St. Andrews Σκωτίας και Κρήτης. Ήταν επισκέπτης ερευνητής στα αστροσκοπεία Meudon Γαλλίας και Τορίνο Ιταλίας. Είναι συγγραφέας βιβλίων Φυσικής και Αστροφυσικής. Συμμετέχει σε Ευρωπαϊκά Ερευνητικά Προγράμματα και διευθύνει ερευνητική ομάδα στον Τομέα Αστροφυσικής και Αστρονομίας του Πανεπιστημίου Αθηνών. Είναι από το 2006 εκλεγμένος Πρόεδρος της Ελληνικής Αστρονομικής Εταιρείας, μέλος του Εθνικού Συμβουλίου Έρευνας και Τεχνολογίας, της Εθνικής Αστρονομικής Επιτροπής και εκπροσωπεί την Ελλάδα στην Επιστημονική Επιτροπή του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος. Έχει δημοσιεύσει μεγάλο αριθμό πρωτότυπων ερευνητικών εργασιών στη Φυσική και Αστροφυσική σε διεθνή περιοδικά και έχει διοργανώσει διεθνή συνέδρια.

Αστρονομία Ακτίνων Χ και Γ: Αντικρίζοντας το Σύμπαν του Einstein

Απόστολος Μαστιχιάδης

Τομέας Αστροφυσικής, Αστρονομίας & Μηχανικής, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Αθηνών

Περίληψη

Η εξέλιξη της τεχνολογίας επέτρεψε τα τελευταία σαράντα χρόνια, για πρώτη φορά, την παρατήρηση του Σύμπαντος στις ακτίνες Χ και γ. Στο παρόν άρθρο θα αναφερθούμε κυρίως στα κοσμικά αντικείμενα τα οποία ανακαλύφθηκαν, πολλά εκ των οποίων ήταν άγνωστα, και που φανέρωσαν μια νέα, λιγότερο οικεία, πτυχή του Σύμπαντος.

1. Εισαγωγή

Οι ακτίνες Χ και γ, όπως φυσικά και το ορατό φως, είναι μέρος του Ηλεκτρομαγνητικού φάσματος αλλά σε αντίθεση με το τελευταίο, που τώρα μεταφέρει τις πληροφορίες αυτές από τη σελίδα στο μάτι σας, δεν είναι ορατές. Άλλες περιοχές του Ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, περισσότερο ίσως οικείες, πέρα βέβαια από το ορατό φως, είναι τα ραδιοφωνικά κύματα, η υπέρυθρη και η υπεριώδης ακτινοβολία. Αυτό που χαρακτηρίζει ωστόσο τις ακτίνες Χ και γ είναι η υψηλή ενέργειά τους. Για παράδειγμα, οι ακτίνες Χ μεταφέρουν χιλιάδες φορές μεγαλύτερη ενέργεια από ότι το ορατό φως, ενώ οι ακτίνες γ, με τη σειρά τους, μπορεί να είναι χιλιάδες έως εκατομμύρια φορές πιο ενεργητικές από τις ακτίνες Χ.

Η Γήινη ατμόσφαιρα ευτυχώς απορροφάει αυτή την ακτινοβολία όταν έρχεται από το Διάστημα και δεν την αφήνει να φτάσει στην επιφάνεια του πλανήτη μας – και λέω ‘ευτυχώς’ γιατί εάν έφθανε στην επιφάνεια του θα είχε πολύ καταστροφικά αποτελέσματα. Επομένως ένας αστροφυσικός δεν μπορεί να γνωρίζει τις πιθανές πηγές ακτίνων Χ και γ εάν εκτελεί τις επιστημονικές παρατηρήσεις του από τη Γη. Ήταν συνεπώς άγνωστο, έως πρόσφατα, τι συνέβαινε στο Σύμπαν όσον αφορά αυτές τις ακτινοβολίες. Ωστόσο πριν σαράντα περίπου χρόνια, με την είσοδο της ανθρωπότητας στην Εποχή του Διαστήμα-

τος, οι επιστήμονες μπόρεσαν να τοποθετήσουν τους κατάλληλους ανιχνευτές σε αερόστατα και δορυφόρους, να τους στείλουν πάνω από την προστατευτική ασπίδα της Γης και να χαρτογραφίσουν τον ουρανό σε αυτές τις (υψηλές) ενέργειες.

Η πρώτη αποστολή που έφερε την αστρονομία ακτίνων-Χ στο προσκήνιο ήταν αυτή του δορυφόρου UHURU στη δεκαετία του 1970. Ακολούθησαν πολλές άλλες αποστολές με διαρκώς βελτιούμενα όργανα και καθώς οι ανιχνευτές παραμένουν πλέον σε τροχιά γύρω από τη Γη για πολλά χρόνια, μας δίνουν μία λεπτομερή εικόνα του ουρανού σε αυτές τις ενέργειες με τις διαπιστωμένες πηγές να ανέρχονται σε πολλές δεκάδες χιλιάδων.

Η αστρονομία ακτίνων γ ξεκίνησε αργότερα, στα μέσα της δεκαετίας του 1980, με τις παρατηρήσεις του ευρωπαϊκού δορυφόρου Cos-B. Σήμερα παίρνουμε πολύτιμες πληροφορίες σε αυτές τις ενέργειες από τον ανιχνευτή Fermi, ο οποίος τέθηκε σε τροχιά πριν από ένα χρόνο, καθώς και από μερικούς επίγειους ανιχνευτές που χρησιμοποιούν ειδικές τεχνικές για να συλλάβουν την ηχώ της ακτινοβολίας γ πολύ υψηλών ενεργειών καθώς αυτή εισέρχεται στην ατμόσφαιρα.

Ενώ τα κλασσικά όργανα αστρονομικής παρατήρησης, δηλαδή το ανθρώπινο μάτι στην αρχή και τα οπτικά τηλεσκόπια αργότερα, έδιναν μία εικόνα του Σύμπαντος που βρίσκεται σε αρμονία (ας θυμηθούμε την «Μουσική των Σφαιρών» του Πυθαγόρα), οι παρατηρήσεις στις ακτίνες Χ και γ φανέρωσαν ένα Σύμπαν γεμάτο από ασυνήθιστα αντικείμενα και βίαια φαινόμενα που πράγματι αξίζει να εξετάσουμε πιο προσεκτικά και κατά περίπτωση.

Καταρχάς να σημειώσουμε ότι οι παρατηρήσεις στις ακτίνες Χ φανερώνουν, κατά κύριο λόγο, την παρουσία πολύ θερμών περιοχών στο Σύμπαν με θερμοκρασίες που ανέρχονται σε πολλά εκατομμύρια βαθμούς. Εάν αναλογισθεί κανείς ότι η θερμοκρασία του Ηλίου είναι γύρω στους 5.500 βαθμούς, αντιλαμ-

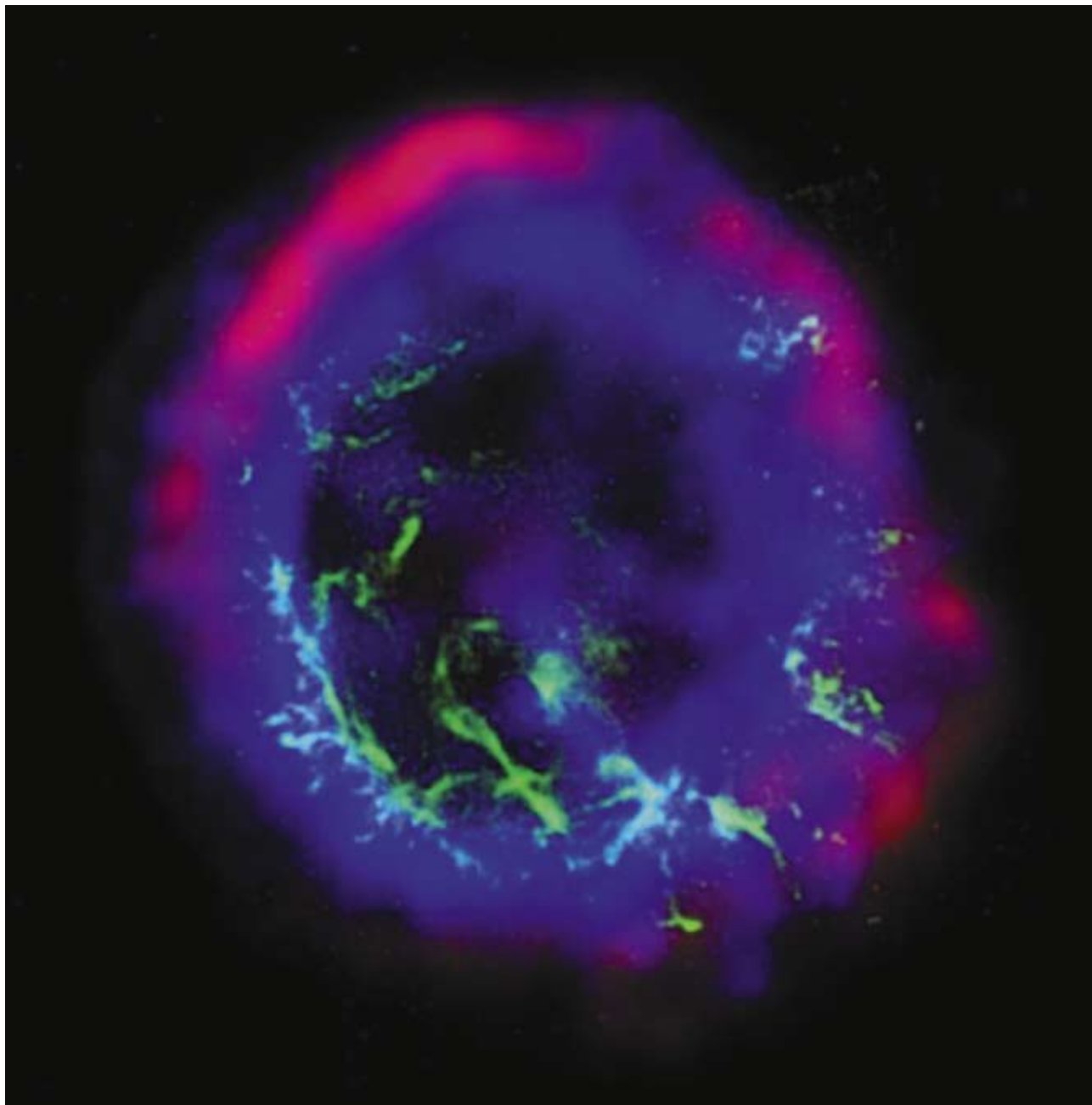
βάνεται ότι ακτίνες Χ εκπέμπουν σώματα που είναι χιλιάδες φορές θερμότερα¹. Στις ακτίνες γ πάλι θα μπορούσαμε να παρατηρήσουμε θερμά αντικείμενα με θερμοκρασίες πάνω από ένα δισεκατομμύριο βαθμούς. Τέτοια αντικείμενα όμως δεν υπάρχουν – η μόνη τέτοια πηγή που γνωρίζουμε είναι το ίδιο το Σύμπαν λίγο μετά τη «δημιουργία» του (μετά δηλαδή την αρχή της διαστολής του). Στις ακτίνες γ παρατηρούμε ωστόσο τους λεγόμενους κοσμικούς επιταχυντές (για περισσότερες λεπτομέρειες, δέστε το άρθρο του Λ.Βλάχου), αστροφυσικά αντικείμενα δηλαδή που με διάφορες διαδικασίες μπορούν κι επιταχύνουν σωματίδια σε ταχύτητες που προσεγγίζουν αυτή του φωτός. Τα σωματίδια αυτά, σύμφωνα με τη θεωρία του Einstein, αποκτούν υψηλές ενέργειες και εκπέμπουν φωτόνια γ ως μια απόδειξη της μοναδικότητάς τους – πράγματι το Σύμπαν σήμερα είναι κρύο, μόλις 3 βαθμούς πάνω από το απόλυτο μηδέν. Η ύπαρξη αυτών των σχετικιστικών, όπως ονομάζονται, σωματιδίων αποτελεί μία εξαίρεση από τον κανόνα, είναι σαν να λέμε, μία ακραία αλλά πολύ ενδιαφέρουσα μειοψηφία που κάνει την παρουσία της αισθητή με τις ακτίνες γ.

Παρακάτω θα σταχυολογήσουμε μερικές από τις πηγές ακτίνων Χ και γ ξεκινώντας από αυτές που βρίσκονται στον Γαλαξία μας και μετά θα αναφερθούμε σε αυτές που βρίσκονται έξω από αυτόν, σε κοσμολογικές αποστάσεις.

2. Πηγές ακτίνων Χ και γ στον Γαλαξία

α) Υπερκαινοφανείς και υπολείμματα αυτών

Ενώ οι αστέρες μικρής μάζας, όπως ο Ήλιος, θα τελειώσουν τη ζωή τους ήρεμα μετά την εξάντληση των πυρηνικών τους καυσίμων, οι μεγάλης μάζας αστέρες θα ολοκληρώσουν την ζωή τους με τρόπο εντυπωσιακό, με μια καταστροφική έκρηξη που διασκορπίζει το υλικό από το εσωτερικό τους στον περιβάλλοντα χώρο. Αυτές οι εκρήξεις συνο-



Εικόνα 1. Υπόλειμμα υπερκαινοφανούς. Οι ακτίνες X υψηλών και χαμηλών ενεργειών παρουσιάζονται με κόκκινο και μπλε χρώμα αντίστοιχα, ενώ με πράσινο το ορατό φως. Στις ακτίνες X παρατηρούμε το ωστικό κύμα ενώ στο ορατό την αστρική ύλη που κινείται με μεγάλες ταχύτητες στον μεσοαστρικό χώρο.

δεύονται από ισχυρά ωστικά κύματα τα οποία διατρέχουν τον μεσοαστρικό χώρο θερμαίνοντάς τον και κάνοντάς τον να ακτινοβολεί στις ακτίνες X. Παρατηρώντας λοιπόν ένα υπόλειμμα υπερκαινοφανούς διαπιστώνουμε την ύπαρξη ενός δακτυλίου που λάμπει στις ακτίνες X, ενώ πρακτικά είναι αόρατος με τα οπτικά τηλεσκόπια.

Όμως οι υπερκαινοφανείς, όπως διαπιστώθηκε μόλις πριν από λίγα χρόνια, είναι και πηγές ακτίνων γ. Εικάζεται λοιπόν ότι αυτά τα αντικείμενα δρουν και ως κοσμικοί επιταχυντές, κάτι σαν το Large

Hadron Collider στο CERN, κι επιταχύνουν σωματίδια. Ως πλέον υποσχόμενος μηχανισμός επιτάχυνσης θεωρείται ένας μηχανισμός που προτάθηκε από τον μεγάλο φυσικό Enrico Fermi πριν από εξήντα χρόνια και αργότερα προσαρμόστηκε στα ωστικά κύματα υπερκαινοφανών. Εάν μάλιστα νέες παρατηρήσεις επαληθεύσουν τα μέχρι τώρα δεδομένα, τότε ίσως να έχει λυθεί και ένα από τα μεγάλα αινίγματα της σύγχρονης αστροφυσικής που είναι η προέλευση των κοσμικών ακτίνων, των φορτισμένων σωματιδίων δηλαδή που φτάνουν στη Γη από το έξω

διάστημα και που κανείς μέχρι σήμερα δεν γνώριζε από πού έρχονταν.

β) Αστέρες νετρονίων/pulsars

Οι αστέρες νετρονίων είναι αστρικά πτώματα, υπολείμματα του αστέρα που απομένει μετά την έκρηξη υπερκαινοφανούς. Αυτός καταρρέει κάτω από την επίδραση των βαρυτικών δυνάμεων μέχρι που στο εσωτερικό του οι πυρήνες και ηλεκτρόνια να ενωθούν προς σχηματισμό νετρονίων. Με μια ακτίνα που είναι μόλις λίγες δεκάδες χιλιόμετρα και μάζα που είναι λίγο μεγαλύτερη αυτής του

Ηλίου, οι αστέρες νετρονίων αποτελούν τις πιο πυκνές συγκεντρώσεις ύλης στο Σύμπαν, μετά τις μελανές οπές. Ταυτόχρονα είναι ταχύτατα περιστρεφόμενοι (μία ημέρα σε έναν αστέρα νετρονίων, δηλαδή μια πλήρης περιστροφή γύρω από τον άξονά του, διαρκεί, κατά μέσο όρο, ένα δευτερόλεπτο, σε μερικές μάλιστα πιο ακραίες περιπτώσεις μπορεί να είναι της τάξης μερικών χιλιοστών του δευτερολέπτου), ισχυρά μαγνητισμένοι (τα άτομα της επιφανείας τους δεν έχουν τη γνωστή σφαιρική δομή, αλλά το μαγνητικό πεδίο τα επιμηκύνει σε μορφή πούρου) και, ιδιαίτερα οι νεότεροι, είναι πολύ θερμοί. Αυτό το τελευταίο χαρακτηριστικό τους κάνει να εκπέμπουν στις ακτίνες Χ και να δίνουν πολύτιμες πληροφορίες για τις διαστάσεις τους. Αυτό το στοιχείο βοηθάει τους φυσικούς να καταλάβουν την συμπεριφορά της ύλης στο εσωτερικό τους που, όπως είπαμε, βρίσκεται σε υπερ-πυρηνικές πυκνότητες.

Οι pulsars πάλι είναι μια υπο-ομάδα των αστέρων νετρονίων που έχουν μια χαρακτηριστική ιδιότητα: Εκπέμπουν ραδιοφωνικά κύματα. Ανακαλύφθηκαν το 1967 και έδωσαν το βραβείο Nobel στην υπεύθυνη, για την ανακάλυψή τους, επιστημονική ομάδα. Εκπέμπουν ακτινοβολία με περίπλοκες φυσικές διεργασίες μέσα σε ένα κώνο φωτός και εμείς λαμβάνουμε ένα σήμα-παλμό κάθε φορά που μας σαρώνει αυτή η δέσμη. Οι pulsar δρουν δηλαδή σαν ένα είδος κοσμικού φάρου. Τα τελευταία χρόνια διαπιστώθηκε ότι πολλοί από αυτούς εκπέμπουν παλμούς και στις ακτίνες-γ και μάλιστα ο αριθμός τους έχει αυξηθεί σημαντικά χάρη στις παρατηρήσεις του προαναφερθέντος τηλεσκοπίου Fermi. Πρέπει λοιπόν να τους τοποθετήσουμε και αυτούς στην κατηγορία των κοσμικών επιταχυντών.

γ) Συμπαγή Συστήματα Ακτίνων Χ

Είναι γνωστό στους αστρονόμους ότι πολλοί αστέρες δεν είναι μοναχικοί αλλά ενδέχεται να ανήκουν σε διπλό σύστημα, να συνοδεύονται δηλαδή από έναν ακόμα αστέρα. Ένα ευρύτατα διαδεδομένο φαινόμενο σε αυτά τα συστήματα είναι η μεταφορά μάζας μεταξύ των μελών του συστήματος, με άλλα λόγια το ένα να τροφοδοτεί το άλλο με αέριο. Όταν το ένα μέλος είναι αστέρας νετρονίων, τότε η όλη διαδικασία αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς η ύλη που μεταφέρεται από τον κανονι-

κό αστέρα συμπιέζεται καθώς κινείται προς τον αστέρα νετρονίων και εν τέλει πυρακτώνεται (η βαρυτική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα) με αποτέλεσμα να ακτινοβολεί έντονα στις ακτίνες Χ. Τα τηλεσκόπιά μας λαμβάνουν ορατό φως μόνο από τον κανονικό αστέρα και ακτίνες Χ από τον (αθέατο κατά τα άλλα) αστέρα νετρονίων. Η εκλυόμενη ισχύς, μόνο στις ακτίνες Χ, ξεπερνά κατά εκατοντάδες χιλιάδες φορές την συνολική ισχύ του Ηλίου. Πολλές εκατοντάδες τέτοιων συστημάτων έχουν ανιχνευθεί μέχρι σήμερα στον Γαλαξία μας.

Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις που οι αστρονόμοι, αφού «ζυγίσουν», με τις ειδικές μεθόδους που διαθέτουν, τον αθέατο αστέρα, βρίσκουν ότι είναι πολύ βαρύς για να είναι ένας αστέρας νετρονίων (όλες οι θεωρητικές μελέτες επί του θέματος συγκλίνουν στο ότι οι αστέρες νετρονίων δεν μπορούν να έχουν πολύ μεγάλη μάζα). Σε αυτή την περίπτωση όλες οι ενδείξεις συντείνουν στο ότι αυτό το αντικείμενο, το οποίο δεν είναι μεν ορατό αλλά μετράμε την μάζα του και παρατηρούμε τις ακτίνες Χ που παράγονται στη γειτονιά του, είναι μία μελανή οπή. Γνωρίζουμε τουλάχιστον δέκα τέτοια συστήματα στο Γαλαξία που είναι υποψήφια το ένα μέλος τους να είναι μια μελανή οπή.

Οι μελανές οπές είναι αντικείμενα τα οποία προβλέπονται από τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας του Einstein. Όλη τους η μάζα έχει καταρρεύσει πίσω από μία επιφάνεια που ονομάζουμε «ορίζοντα γεγονότων». Μέσα από τον χώρο που ορίζει αυτή η επιφάνεια τίποτα δεν μπορεί να δραπετεύσει προς τα έξω, ούτε καν το φως. Είναι λοιπόν ειρωνικό ότι οι πρώτες ενδείξεις για την ανακάλυψή τους έρχονται από τις ακτίνες Χ, που είναι ένα είδος φωτός. Ωστόσο τονίζουμε ότι το φως αυτό δεν παράγεται μέσα από τον ορίζοντα γεγονότων αλλά έξω από αυτόν. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι οι ακτίνες Χ που εκπέμπονται είναι το κύκνειο άσμα της πυρακτωμένης ύλης πριν συνθλιβεί από τις βαρυτικές δυνάμεις και εξαφανιστεί για πάντα πίσω από τον ορίζοντα γεγονότων της μελανής οπής.

3. Πηγές ακτίνων Χ και γ έξω από τον Γαλαξία

α) Ενεργοί Γαλαξίες/Quasars

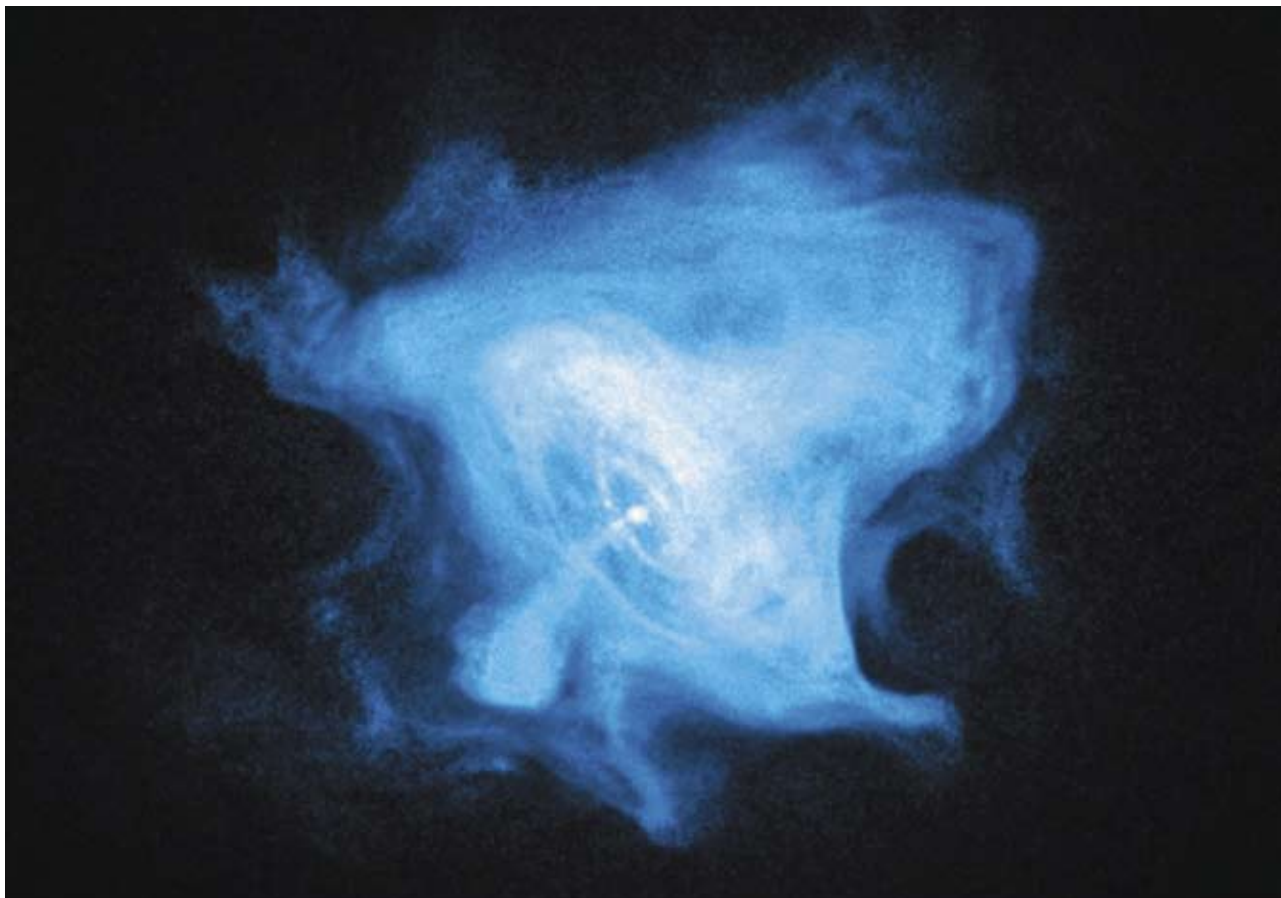
Οι Ενεργοί Γαλαξίες αποτελούν ένα ακραίο παράδειγμα αστροφυσικών πηγών. Οι αστρονόμοι παρατηρούν μερικούς από αυτούς, τους επονομαζόμε-

νους quasars, κυριολεκτικά από τις παρυφές του ορατού Σύμπαντος (είναι χαρακτηριστικό ότι το φως που λαμβάνουμε σήμερα από τον πιο κοντινό σε μας quasar εκπέμφθηκε από την πηγή του όταν η Γη βρισκόταν στην Πρεκάμβριο περίοδο, δηλαδή πολύ πριν εμφανισθούν οι πρώτοι δεινόσαυροι). Οι Ενεργοί Γαλαξίες εκλύουν ισχύ από το κέντρο τους, μία περιοχή όχι πολύ μεγαλύτερη σε διαστάσεις από το ηλιακό μας σύστημα, που μπορεί να είναι υπερπολλαπλάσια της ισχύος που εκπέμπει ολόκληρος ο Γαλαξίας μας. Αν σκεφτεί κανείς ότι η κεντρική περιοχή καταλαμβάνει ένα απειροελάχιστο μέρος του συνολικού όγκου του γαλαξία, αντιλαμβάνεται ότι κάτι πολύ ιδιαίτερο πρέπει να συμβαίνει εκεί. Αλλά τα αξιοπερίεργα φαινόμενα δεν σταματούν εδώ. Οι αστρονόμοι παρατηρούν εκροές σχετικιστικού πλάσματος με μορφή εστιασμένων πιδάκων οι οποίοι πηγάζουν από τα κέντρα των Ενεργών Γαλαξιών και εκτείνονται, διατηρώντας την αρχική τους κατεύθυνση, για πολλές χιλιάδες έτη φωτός μακριά από την πηγή τους (για περισσότερες λεπτομέρειες στα θέματα των πιδάκων εν γένει, δείτε το άρθρο του Κ.Τσίγκα-νου), ταχύτατες αυξομειώσεις της ισχύος τους και άλλα χαρακτηριστικά που τους ξεχωρίζουν από τους συνήθεις γαλαξίες, όπως είναι ο δικός μας ή αυτός της Ανδρομέδας.

Όλοι οι Ενεργοί Γαλαξίες είναι ισχυρές πηγές ακτίνων Χ, ενώ ένα ποσοστό έχει παρατηρηθεί και στις ακτίνες γ. Εικάζεται ότι μία γιγαντιαία μελανή οπή με μάζα πολλών εκατομμυρίων ηλιακών μαζών βρίσκεται πίσω από αυτή τη δραστηριότητα. Πιο συγκεκριμένα οι μελανές οπές αποσπούν αέριο από τα αστρικά συστήματα που βρίσκονται στην περιφέρειά τους, το προσροφούν και το θερμαίνουν παράγοντας τις ακτίνες Χ. Η διαδικασία δηλαδή είναι πανομοιότυπη με αυτή που περιγράψαμε για τα Συμπαγή Συστήματα Ακτίνων Χ, μόνο που εκεί οι μελανές οπές είχαν αστρικές μάζες. Από την άλλη, η παραγωγή ακτίνων γ μοιάζει να συνδέεται με δραστηριότητα μέσα στους πίδακες, μακριά από τις κεντρικές περιοχές και τη μελανή οπή. Αυτό το συνάγουν οι αστροφυσικοί από δεδομένα που δείχνουν ότι οι Ενεργοί Γαλαξίες που έχουν πίδακες είναι και πηγές ακτινοβολίας γ.

β) Εκλάμψεις Ακτίνων γ

Ανακαλύφθηκαν εντελώς τυχαία τη δεκαετία του 1960 και από τότε παραμέ-



Εικόνα 2. Ο Crab pulsar στο Νεφέλωμα του Καρκίνου στις ακτίνες X.

νουν ένα από τα πιο αινιγματικά φαινόμενα της Αστροφυσικής. Όπως φανερώνει και η ονομασία τους πρόκειται για εκλάμψεις στις ακτίνες γ που εμφανίζονται αιφνίδια σε κάποιο σημείο του ουρανού, διαρκούν, κατά μέσο όρο, μερικά δευτερόλεπτα και μετά σβήνουν. Η μικρή διάρκειά τους έκανε πολύ δύσκολο τον ακριβή εντοπισμό τους στον ουρανό και παρόλο που ολόκληρα πειράματα αφιερώθηκαν στην ταυτοποίησή τους, για πολλά χρόνια παρέμενε αδύνατος ο προσδιορισμός κάποιου αντικειμένου που να συνδέεται με το φαινόμενο. Τελικά πριν από μία δεκαετία ανακαλύφθηκε ότι αυτά σβήνουν γρήγορα μεν στις ακτίνες γ, αφήνουν όμως πίσω ένα μετέϊκασμα στις ακτίνες X και στο οπτικό, σαν ένα κομμάτι κάρβουνο που αλλάζει θερμοκρασία και χρώμα καθώς ψύχεται. Οι αστρονόμοι πλέον μπορούν να παρακολουθήσουν πολλά από αυτά τα γεγονότα με τη βοήθεια διαφόρων τηλεσκοπίων και με ένα συνδυασμό δεδομένων να βρίσκουν την ακριβή θέση τους στον ουρανό. Διαπιστώθηκε λοιπόν ότι τις περισσότερες φορές οι εκλάμψεις ακτίνων γ προέρχονται από αστρικές περιοχές πολύ μακρινών γαλα-

ξιών. Εικάζεται ότι συνδέονται με σπάνια φαινόμενα, όπως εκρήξεις υπερκαινοφανών αστέρων πολύ μεγάλης μάζας ή συγκρούσεις αστέρων νετρονίων και μελανών οπών.

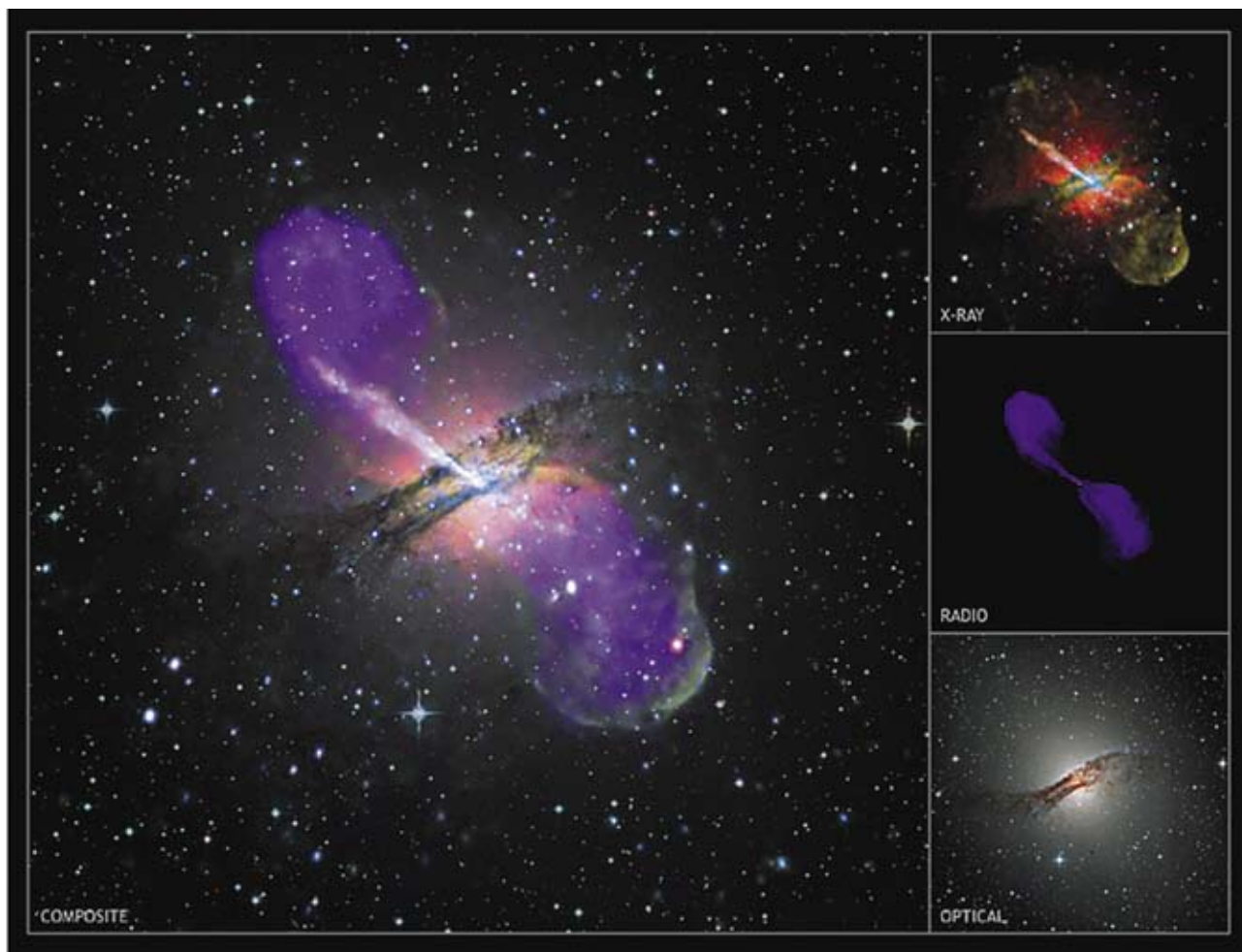
γ) Υπόβαθρο ακτίνων X και γ

Ασφαλώς στους περισσότερους/ες είναι γνωστή η ακτινοβολία του μικροκυματικού υποβάθρου, το κατάλοιπο της Μεγάλης Έκρηξης, η ανακάλυψη του οποίου το 1963 έδωσε το βραβείο Nobel στους Penzias και Wilson (για περισσότερες λεπτομέρειες δείτε το άρθρο του Μ. Πλειώνη). Εκτός από αυτό όμως υπάρχει στο Σύμπαν ακτινοβολία υποβάθρου και σε άλλες συχνότητες και ανάμεσα σε αυτές των ακτίνων X και γ. Η προέλευσή του, κυρίως στις ακτίνες γ, είναι ακόμα θέμα μελέτης. Στις ακτίνες X έχει αποδειχθεί ότι υπεύθυνοι είναι οι πολύ απομακρυσμένοι Ενεργοί Γαλαξίες με τα τεράστια ποσά ακτινοβολίας που εκλύουν. Αυτοί είναι τόσο μακριά από εμάς που δεν μπορούμε να τους ξεχωρίσουμε, να τους δούμε δηλαδή σαν ξεχωριστές πηγές, αλλά παρατηρούμε την ακτινοβολία τους η οποία δημιουργεί το εν λόγω υπόβαθρο.

4. Επίλογος

Ανακεφαλαιώνοντας θα λέγαμε ότι οι ακτίνες X και γ συνδέονται με τα επονομαζόμενα συμπαγή αντικείμενα, δηλαδή τους αστέρες νετρονίων και τις μελανές οπές στις διάφορες εκφάνσεις τους: pulsars, διπλά συστήματα ακτίνων X, quasars και άλλους πυρήνες ενεργών γαλαξιών. Αν και τα παραπάνω κοσμικά αντικείμενα διαφέρουν πολύ μεταξύ τους, ωστόσο σχετίζονται με διάφορους κοινούς μηχανισμούς εκπομπής ακτινοβολίας και συνιστούν μία νέα (και πολύ λιγότερο οικεία) εικόνα του Σύμπαντος από αυτή που γνώριζαν οι άνθρωποι μέχρι τα μέσα του εικοστού αιώνα. Αυτή η ανάγκη εξερεύνησης της σχετικιστικής πλευράς του Σύμπαντος δημιούργησε, εκτός από την Αστρονομία Ακτίνων X και γ, και άλλους κλάδους των αστροφυσικών επιστημών, όπως η Αστροφυσική Υψηλών Ενεργειών, η Αστρονομία Νετρίνων και η Αστροσωματιδιακή Φυσική.

Η Αστρονομία των ακτίνων X και γ είναι πλέον ένα αναπόσπαστο κομμάτι της σύγχρονης αστροφυσικής. Άνοιξε ένα νέο παράθυρο στο Διάστημα και μέσα από αυτό είδαμε για πρώτη φορά



Εικόνα 3. Ο Ενεργός Γαλαξίας Centaurus-A. Η πάνω δεξιά εικόνα είναι η μορφή που παρουσιάζει στις ακτίνες X, η μεσαία στα ραδιοφωνικά κύματα και η κάτω στο ορατό φως. Οι πίδακες παρουσιάζονται μόνο στις ακτίνες X και στα ραδιοφωνικά κύματα. Στο ορατό ο γαλαξίας παρουσιάζεται σαν ένας συνήθης ελλειπτικός. Αριστερά είναι η εικόνα του γαλαξία μετά από υπέρθεση των τριών προηγούμενων.

το σχετικιστικό Σύμπαν με τις φυσικές διαδικασίες και τα αντικείμενα που προβλέπουν οι θεωρίες του Einstein. Η σύγχρονη τάση είναι πλέον οι αστρονόμοι να παρατηρούν τα αντικείμενα σε όσο δυνατόν περισσότερες συχνότητες, ξεκινώντας από τα ραδιοφωνικά κύματα,

περνώντας από το υπέρυθρο, το οπτικό (δείτε το άρθρο της Δ. Χατζηδημητρίου) και το υπεριώδες και καταλήγοντας στις ακτίνες X και γ. Αυτή η πολυκυματική θεώρηση μας δίνει μια εικόνα του συνόλου των φυσικών διεργασιών που συμβαίνουν στα συγκεκριμένα αντικείμενα.

Οι μελλοντικοί διαστημικοί ανιχνευτές θα μπορέσουν να «δουν» με μεγαλύτερη ευκρίνεια αυτά τα αντικείμενα, να ανακαλύψουν ίσως καινούργια και να μας βοηθήσουν να κατανοήσουμε ακόμα καλύτερα την εξωτική τους φύση.

Σημείωση

1. Ο Ήλιος εκπέμπει και στις ακτίνες X. Ωστόσο το ποσό ακτινοβολίας του σε αυτές τις ενέργειες είναι πολύ μικρό σε σχέση με αυτό που εκπέμπει στο ορατό φως, συνεπώς δεν μπορούμε να τον κατατάξουμε ως ένα αντικείμενο ακτίνων X.

Βιογραφικά στοιχεία του Απόστολου Μαστιχιάδη



Ο Απόστολος Μαστιχιάδης γεννήθηκε στην Αθήνα και πήρε το πτυχίο Φυσικής από την Φυσικομαθηματική Σχολή του Πανεπιστημίου Αθηνών. Συνέχισε τις σπουδές του στο Πανεπιστήμιο του Σάσεξ και της Βοστώνης από όπου πήρε μάστερ και διδακτορικό με ειδίκευση στην Αστρονομία. Εργάστηκε ως ερευνητής επί δώδεκα έτη σε ερευνητικά κέντρα και πανεπιστήμια όπως τα Ινστιτούτα Μαξ Πλανκ του Μονάχου και Χαϊδελβέργης, στη NASA και το Πανεπιστήμιο της Αδελαΐδας, πριν έλθει στο Τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών όπου υπηρετεί μέχρι σήμερα ως Αναπληρωτής Καθηγητής. Τα ερευνητικά του ενδιαφέροντα περιστρέφονται γύρω από την Αστροφυσική Υψηλών Ενεργειών. Έχει συγγράψει πάνω από 130 εργασίες, 60 εκ των οποίων σε περιοδικά με κριτές

Αστρονομία Βαρυτικών Κυμάτων

Κωνσταντίνος Κόικκοτας

Τομέας Αστροφυσικής, Αστρονομίας και Μηχανικής,

Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Παν/μιο Θεσσαλονίκης & Πανεπιστήμιο του Tübingen

Περίληψη

Τα βαρυτικά κύματα, ενώ αποτελούν βασικό συστατικό στοιχείο της θεωρίας του Einstein για τη βαρύτητα, δεν έχουν ακόμη και σήμερα, σχεδόν ένα αιώνα μετά την πρόβλεψή τους, παρατηρηθεί άμεσα. Σύγχρονα επίγεια αλλά και διαστημικά “τηλεσκόπια” ανίχνευσης βαρυτικών κυμάτων βρίσκονται στο στάδιο του σχεδιασμού, σε δοκιμαστική ή και σε πλήρη λειτουργία, με σκοπό να ανακαλύψουν τον τελευταίο αλλά εξαιρετικά σημαντικό θεμέλιο λίθο της θεωρίας. Την επόμενη πενταετία φιλοδοξούμε να γίνουμε μάρτυρες μιας μοναδικής ανακάλυψης που θα εγκαينαιώσει έναν πρωτόγνωρο τρόπο μελέτης των πιο απόκρυφων αλλά και μακρινών σημείων του Σύμπαντος –τερόστιων μελανών οπών, υπέρπικνων άστρων από νετρόνια ή/και κουάρκ, αλλά και των πρώτων στιγμών της «Δημιουργίας». Νέοι, οπτικά «αόρατοι», κόσμοι περιμένουν να ανακαλυφθούν και να εξερευνηθούν, και ίσως υπάρξουν σημαντικές μεταβολές στην αντίληψή μας για την «σκοτεινή ύλη» στο Σύμπαν.

Εισαγωγή

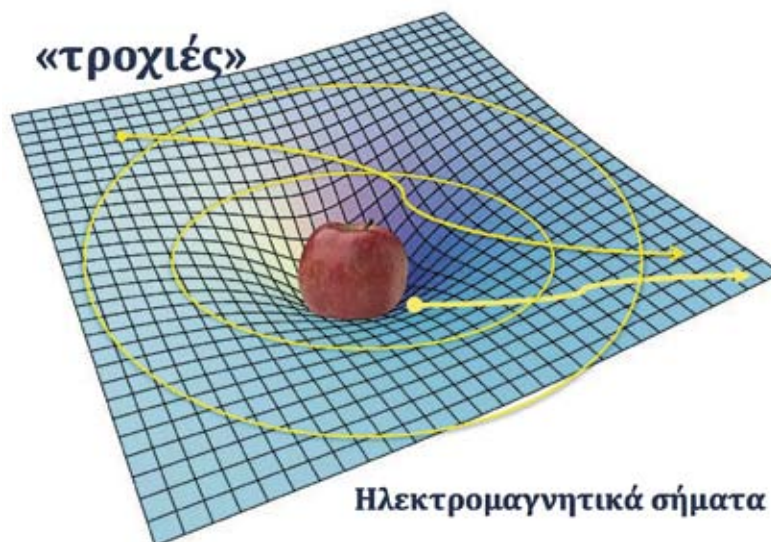
Η “νέωτερη Φυσική” ξεκινά στις αρχές του 20ου αιώνα με την Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας (ΕΘΣ) που εισήγαγε μερικές επαναστατικές ιδέες για την εποχή της, όπως για παράδειγμα ότι ο χρόνος «κυλάει» διαφορετικά για παρατηρητές που κινούνται με διαφορετικές ταχύτητες, αλλά και ότι οι διαστάσεις των αντικειμένων αλλάζουν και εξαρτώνται από την ταχύτητα με την οποία κινούνται. Επιπλέον, αλλαγές υφίσταται η έννοια της μάζας: για παράδειγμα, ένα σώμα γίνεται «βαρύτερο» όταν κινείται. Τούτο δεν σημαίνει ότι το σώμα αποκτήσε ξαφνικά περισσότερα πρωτόνια και ηλεκτρόνια, αλλά ότι απαιτείται μεγαλύτερη δύναμη για να μεταβάλουμε την κινητική του κατάσταση όταν κινεί-

ται παρά όταν ηρεμεί. Φυσικά, όλα αυτά γίνονται αντιληπτά μόνο σε κινήσεις με ταχύτητες που πλησιάζουν την ταχύτητα του φωτός. Σήμερα, τέτοιες ταχύτητες δεν είναι καθόλου σπάνιες, και όλες οι προβλέψεις της ΕΘΣ έχουν επιβεβαιωθεί πειραματικά.

Η αποδοχή όμως της ΕΘΣ, η οποία κατά βάση αποτελεί μια θεωρία συσχετισμού κινηματικών καταστάσεων, δημιούργησε σημαντικά προβλήματα στην αντίληψή μας για τη βαρύτητα. Σε σύγκριση με τις άλλες γνωστές αλληλεπιδράσεις στη φύση –την *ισχυρή* (η οποία συγκρατεί τα κουάρκ που δομούν τα πρωτόνια, τα νετρόνια κ.λπ.), την *ασθενή* (η οποία καθιστά δυνατή την αντίδραση παραγωγής νετρονίων από πρωτόνια και ηλεκτρόνια) και την *ηλεκτρομαγνητική*–, η βαρύτητα είναι η ασθενέστερη. Η βαρυτική δύναμη, αν και ασθενέστερη κατά πολλές τάξεις μεγέθους από τις υπόλοιπες δυνάμεις, λόγω της μεγάλης της εμβέλειας και της ανυπαρξίας ετεροσήμων μαζών, κυριαρχεί στις μεγάλες κλίμακες και κινεί το Σύμπαν.

Καμπύλος χωροχρόνος

Η νευτώνεια βαρυτική θεωρία προβλέπει ότι κάθε κατανομή ύλης δημιουργεί βαρυτικό πεδίο, το οποίο ασκεί ελκτικές δυνάμεις στον περιβάλλοντα χώρο. Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, κάθε μεταβολή στο βαρυτικό πεδίο διαδίδεται ακαριαία σε όλο το Σύμπαν. Δηλαδή, αν υποθέσουμε πως για κάποιο λόγο μεταβάλετο η τροχιά της Γης και έπεφτε πάνω στον Ήλιο, τότε προφανώς θα άλλαζε το βαρυτικό πεδίο του Ήλιου, και όλοι οι υπόλοιποι πλανήτες θα αναπροσάρμοζαν ακαριαία τις τροχιές τους· επιπλέον, παρατηρητές στα πέρατα του Σύμπαντος που θα είχαν την ικανότητα παρατήρησης του ηλιακού βαρυτικού πεδίου θα πληροφορούνταν ακαριαία τις εν λόγω αλλαγές. Κάτι τέτοιο φυσικά έρχεται σε αντίθεση με την ΕΘΣ, σύμφωνα με την οποία η μέγιστη ταχύτητα διάδοσης της πληροφορίας είναι εκείνη του φωτός. Πέραν αυτού, η ΕΘΣ προβλέπει την ισοδυναμία μάζας και ενέργειας, και επειδή το βαρυτικό πεδίο είναι αποτέλεσμα της



Εικόνα 1. Δισδιάστατη απεικόνιση του χωροχρόνου στην περιοχή του ενός σώματος. Οι τροχιές των σωμάτων και του φωτός καθορίζονται από το βαθμό καμπύλωσης του χωροχρόνου. Η συγκεκριμένη γεωμετρική αντίληψη για τη βαρύτητα οδήγησε τον Einstein στην πρώτη του πρόβλεψη, η οποία αφορά τη μη ευθύγραμμη διάδοση του φωτός στην περιοχή ισχυρών συγκεντρώσεων ύλης. Η συγκεκριμένη πρόβλεψη επιβεβαιώθηκε, κατά τη διάρκεια της ολικής έκλειψης Ηλίου το 1919.

συγκέντρωσης ύλης, θα πρέπει και τα ισοδύναμα της μάζας να δημιουργούν βαρυτικό πεδίο –δηλαδή, κάθε μορφή ύλης ή ενέργειας συνεισφέρει στη δημιουργία του βαρυτικού πεδίου. Αυτή η παρατήρηση αρκούσε από μόνη της για να προκληθούν τριγμοί στα θεμέλια του νευτώνειου οικοδομήματος· έτσι, δέκα χρόνια μετά τη διατύπωση της ΕΘΣ, ο Einstein παρουσίασε (το 1915) τη δική του θεωρία για τη βαρύτητα, τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας (ΓΘΣ).

Κύριο συστατικό στοιχείο της νέας θεωρίας για τη βαρύτητα αποτελεί και πάλι η έννοια του χωροχρόνου. Κατά τον Einstein, ο χωρόχρονος σε μια περιοχή του Σύμπαντος μακράν κάθε μορφής ύλης ή ενέργειας είναι επίπεδος. Το χωρόχρονο τον εξαναγκάζει να καμπυλωθεί η παρουσία ύλης· μεγαλύτερες δε συγκεντρώσεις ύλης σε μικρές περιοχές του χώρου προκαλούν εντονότερη καμπύλωση στο χωρόχρονο.

Οι αποκλίσεις από τη νευτώνεια θεωρία που προβλέπουν τόσο η ΕΘΣ όσο και η ΓΘΣ καθίστανται παρατηρήσιμες μόνο όταν τα σώματα κινούνται με ταχύτητες που αγγίζουν εκείνη του φωτός και για βαρυτικά πεδία αστρικών αντικειμένων μεγάλης μάζας. Για παράδειγμα, η διαφορά προβλέψεων μεταξύ νευτώνειας θεωρίας και ΓΘΣ για την ένταση του βαρυτικού πεδίου του Ήλιου είναι της τάξεως του $1/10.000$! Παρά ταύτα, οι απαιτήσεις της σύγχρονης κοινωνίας

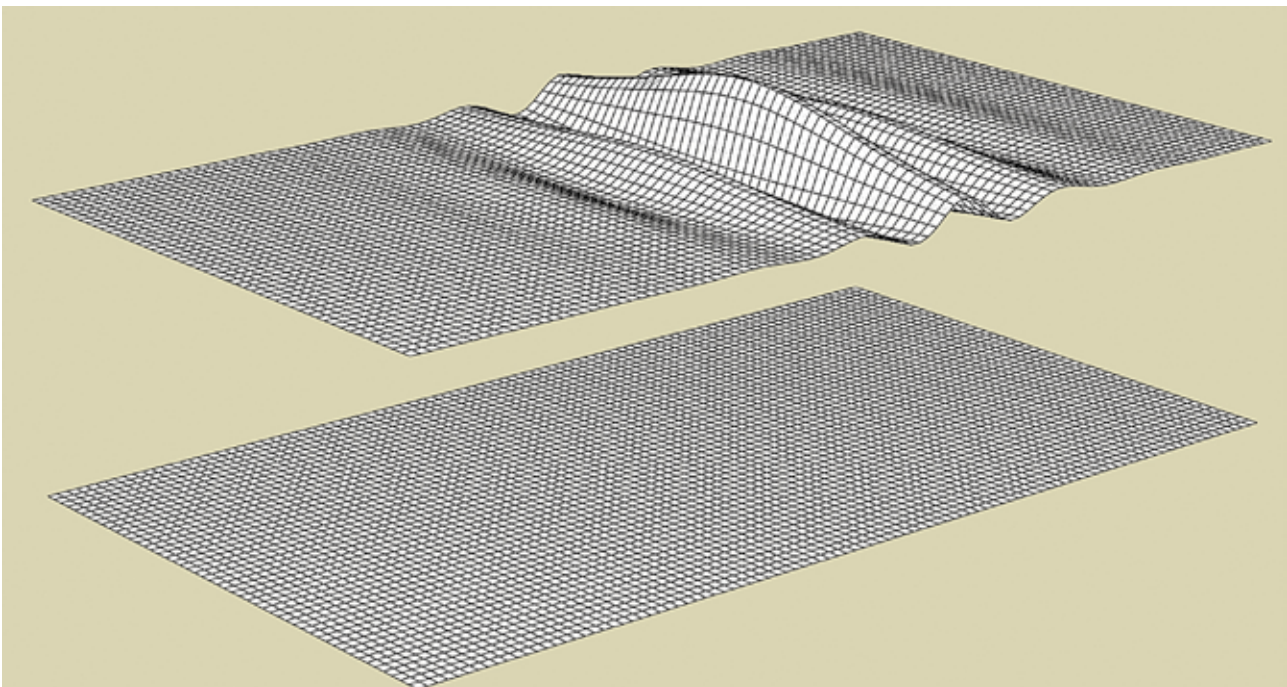
κάνουν αναγκαία σε ορισμένες περιπτώσεις τη χρήση των θεωριών του Einstein ακόμη και στην καθημερινή μας ζωή. Χαρακτηριστικά, τα ρολόγια των τεχνητών δορυφόρων «τρέχουν» με διαφορετική ταχύτητα απ' ό,τι τα αντίστοιχα στην επιφάνεια της Γης. Οι λόγοι είναι κυρίως δύο: πρώτον, οι μεγάλες τους ταχύτητες (ΕΘΣ)· και δεύτερον, επειδή στο ύψος όπου βρίσκονται το βαρυτικό πεδίο της Γης είναι ασθενέστερο, ο χρόνος εκεί κυλά με διαφορετικό ρυθμό απ' ό,τι στην επιφάνεια της Γης (ΓΘΣ). Ειδικά σε συστήματα για τα οποία απαιτείται μεγάλη ακρίβεια, όπως στο Γεωγραφικό Σύστημα Προσδιορισμού Συντεταγμένων (GPS), ακόμη και μεταβολές της τάξεως του νανοδευτερολέπτου (10^{-9} sec) αρκούν για να προκληθούν σημαντικότερα σφάλματα στον προσδιορισμό της θέσης επί της Γης. Το GPS χρησιμοποιείται πλέον ευρύτατα στην αεροπλοΐα, στη ναυτιλία αλλά και στα σύγχρονα αυτοκίνητα. Άρα, χωρίς να το έχουμε αντιληφθεί, στο σύνολο των σχετικά μακρινών μετακινήσεών μας χρησιμοποιούμε τις θεωρίες του Einstein.

«Ρυτιδώσεις» του χωροχρόνου

Δύο χρόνια μετά την παρουσίαση της θεωρίας του για τη βαρύτητα ο Einstein βασισμένος στην οξύτατη φυσική του διαίσθηση, αλλά και οδηγούμενος από τη

μορφή των εξισώσεών του, υποστήριξε ότι οι μεταβολές κάθε βαρυτικού πεδίου θα πρέπει να διαδίδονται με πεπερασμένη ταχύτητα και όχι ακαριαία. Σύμφωνα με τη νέα θεωρία, η πληροφορία για τις μεταβολές της έντασης του βαρυτικού πεδίου θα μεταφέρεται από «βαρυτικά κύματα», με πεπερασμένη ταχύτητα ίση αυτής του φωτός. Σε αντιστοιχία με τον ηλεκτρομαγνητισμό, όπου φορέας της μεταβολής του πεδίου είναι το φωτόνιο, στη ΓΘΣ η πληροφορία για τη μεταβολή του βαρυτικού πεδίου μεταφέρεται από το «βαρυτόνιο». Ποια θα είναι όμως η υφή αυτών των κυμάτων; Αν το βαρυτικό πεδίο κάνει αισθητή την παρουσία του μέσω της καμπύλωσης του χωροχρόνου, τότε οι μεταβολές του βαρυτικού πεδίου θα είναι μεταβολές της καμπυλότητας· συνεπώς, τα βαρυτικά κύματα θα δημιουργούν καθώς διαδίδονται μεταβολές αυτού του είδους. Δηλαδή, τα βαρυτικά κύματα συνιστούν διαταραχές της γεωμετρίας του χωροχρόνου, οι οποίες διαδίδονται με την ταχύτητα του φωτός.

Τα βαρυτικά κύματα, όπως και τα ηλεκτρομαγνητικά, συμβάλλουν, περιθλώνται, αλληλεπιδρούν με την ύλη και, γενικά, ακολουθούν όλους τους κυματικούς νόμους που έχουμε υπόψη μας. Η βασική τους διαφορά έγκειται στο ότι, ενώ τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται μέσα στο χωρόχρονο χωρίς να τον επηρεάζουν, τα βαρυτικά αποτελούν διακυμάνσεις του ίδιου του χωροχρόνου.



Εικόνα 2. Διδιάστατη απεικόνιση του επίπεδου χωροχρόνου πριν τη διέλευση ενός βαρυτικού κύματος (κάτω). Το διερχόμενο βαρυτικό κύμα αλλάζει τη γεωμετρία του χωροχρόνου (πάνω).

Επιπλέον, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα απορροφώνται από την ύλη και μόνο τα πολύ υψηλής ενέργειας κύματα μπορούν να τη διαπεράσουν μέχρι ενός ορισμένου βάθους. Τα βαρυτικά κύματα, αντίθετα, διαπερνούν ανεμπόδιστα την ύλη—είτε πρόκειται για το σώμα μας είτε για τη Γη ή και για τον Ήλιο—χωρίς ουσιαστική απορρόφηση. Συνεπώς, μεταφέρουν στον παρατηρητή «καθαρή» πληροφορία για κάθε είδους μεταβολές των βαρυτικών πεδίων από τις εσχατιές του Σύμπαντός μας. Φυσικά, ενώ είναι πολύ εύκολο να ανιχνεύουμε στην καθημερινή μας ζωή τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα με απλοϊκές διατάξεις, δεν ισχύει το ίδιο και για τα βαρυτικά. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα στην οπτική περιοχή του φάσματος ανιχνεύονται εύκολα, διότι το ανθρώπινο μάτι απορροφά όλα τα εκπεμπόμενα φωτόνια που προσπίπτουν πάνω του. Αντίθετα, το ανθρώπινο σώμα απορροφά λιγότερο και από ένα δεκάκις τρισεκατομμυριοστό (10^{-13}) της ενέργειας των βαρυτονίων που το διαπερνούν! *Τούτη ακριβώς η ιδιότητα, η οποία από τη μια αντιπροσωπεύει ένα σοβαρό πλεονέκτημα αφού τα βαρυτικά κύματα δεν υφίστανται σημαντικές αλλαγές από την εκπομπή τους ως τον παρατηρητή, από την άλλη αποτελεί και το βασικό αίτιο της μη ανίχνευσής τους ως σήμερα.*

Το ότι δεν έχουμε κατορθώσει ως σήμερα να ανιχνεύσουμε βαρυτικά κύματα γεννά ερωτήματα όχι μόνο για την ύπαρξή τους, αλλά και για το αν αποτελούν τετριμμένο και πιθανώς αμελητέο αποτέλεσμα της θεωρίας του Einstein. Η απάντηση δόθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1970 από τους ραδιοαστρονόμους R.A. Hulse και J.H. Taylor, οι οποίοι έπειτα από προσεκτική ανάλυση των στοιχείων των τροχιών ενός διπλού συστήματος αστερών νετρονίων, γνωστού με την αστρονομική ονομασία PSR1913+16, διαπίστωσαν ότι η απόσταση των μελών του ζεύγους ελαττώνεται αργά αλλά σταθερά, και μάλιστα με ρυθμό που βρίσκεται σε εξαιρετική συμφωνία με τις προβλέψεις της ΓΘΣ. Όπως προαναφέραμε, η θεωρία του Einstein προβλέπει πως η μεταβολή του βαρυτικού πεδίου δημιουργεί κυμάνσεις στο χωρόχρονο, οι οποίες διαδίδονται με τη μορφή βαρυτικών κυμάτων. Τα εκπεμπόμενα βαρυτικά κύματα, όμως, απάγουν ενέργεια την οποία αφαιρούν από την κινητική ενέργεια του ζεύγους, με αποτέλεσμα η απόσταση των δύο αστερών να ελαττώνεται συνεχώς με ρυθμό που υπολογίζεται πολύ εύκολα με βάση τη ΓΘΣ. Το συγκεκριμένο αστρικό ζεύγος,

αλλά και μερικά ακόμη που ανακαλύφθηκαν αργότερα, παρατηρούνται συνεχώς την τελευταία τριακονταετία, και η αυξανόμενη ακρίβεια των μετρήσεων επιβεβαιώνει την πρόβλεψη του Einstein. Οι Hulse και Taylor τιμήθηκαν το 1993 με το Νόμπελ φυσικής για την εργασία τους, η οποία αποτελεί την έμμεση επιβεβαίωση της ύπαρξης των βαρυτικών κυμάτων.

Τα βαρυτικά κύματα παράγονται από μη σφαιρικές μεταβολές υλικών σωμάτων ή συστημάτων. Οι οποιοσδήποτε μεταβολές στην κατανομή της ύλης σε ένα αστρικό αντικείμενο ή σύστημα δημιουργούν διακυμάνσεις στο βαρυτικό του πεδίο (βαρυτικά κύματα) που είναι ανάλογες της «συγκέντρωσης ύλης». Επομένως, αξίες λόγου πηγές βαρυτικών κυμάτων είναι μόνον όσες έχουν εξαιρετικά ισχυρά βαρυτικά πεδία, όπως οι μαύρες τρύπες, οι αστέρες νετρονίων στη φάση της δημιουργίας τους αλλά και τα στενά ζεύγη που συνίστανται από τέτοια υπέρπυκνα αστρικά αντικείμενα. Τέλος, σημαντική πηγή αποτελεί και το πολύ πρώιμο Σύμπαν, όπου η πυκνότητα της ύλης/ενέργειας ήταν εξαιρετικά μεγάλη. Για παράδειγμα, οι μελανές οπές παρατηρούνται μόνο έμμεσα, λόγω της υψηλής συχνότητας εκπομπής του περιβάλλοντος χώρου, επειδή ακριβώς δεν επιτρέπουν στα φωτόνια να διαφύγουν από το εσωτερικό τους. Εντούτοις, αυτά τα αόρατα στο «ηλεκτρομαγνητικό παράθυρο παρατήρησης» αστρονομικά αντικείμενα αποτελούν εξαιρετικές πηγές βαρυτικών κυμάτων. Η παρατήρηση των βαρυτικών κυμάτων, επομένως, θα μας δώσει πληροφορίες για αντικείμενα που πολύ δύσκολα θα μπορούσαν να ανιχνευθούν με τα συνήθη τηλεσκόπια.

Ανίχνευση

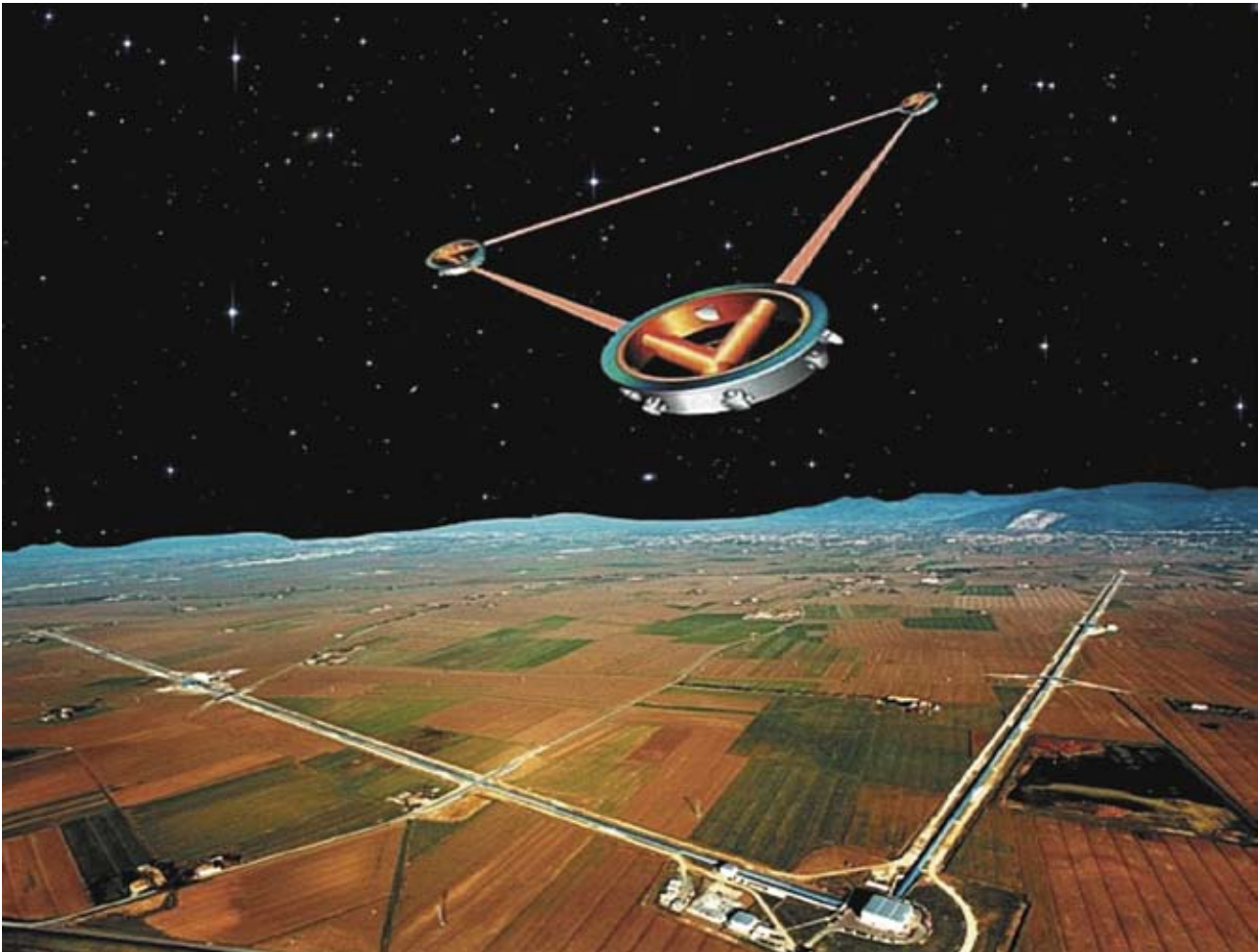
Τι είδους διατάξεις ενδείκνυται να χρησιμοποιηθούν ως «τηλεσκόπια» βαρυτικών κυμάτων, και τι ακριβώς καταγράφουν; Για την κατανόηση της λειτουργίας τους πρέπει να προσδιορίσουμε τον τρόπο με τον οποίο ένα μεταβαλλόμενο βαρυτικό πεδίο επιδρά σε ένα αντικείμενο. Οι μεταβολές του βαρυτικού πεδίου δημιουργούν μεταβολές στις διαστάσεις των σωμάτων, δηλαδή ασκούν στα σώματα παλινδρομογόνες δυνάμεις που μεταβάλλονται ανάλογα με το ρυθμό μεταβολής του πεδίου.

Ένας ιδανικός ανιχνευτής των βαρυτικών μεταβολών θα είναι ένα σώμα απομονωμένο από κάθε εξωτερική επίδραση που θα μεταβάλλει τις διαστάσεις του

ανάλογα με τις μεταβολές του βαρυτικού πεδίου και θα συντονίζεται με τις συχνότητες των διερχόμενων βαρυτικών κυμάτων. Η λειτουργία της νεότερης γενιάς ανιχνευτών βαρυτικών κυμάτων στηρίζεται στην παλινδρομογόνο επίδραση που ασκεί το βαρυτικό κύμα πάνω στα σώματα και όχι μόνο σ' αυτά. Όπως προαναφέραμε, ένα ισχυρό βαρυτικό πεδίο καμπυλώνει το χωρόχρονο (Εικόνα 1). Αντίστοιχα, ένα βαρυτικό κύμα δημιουργεί καθώς διαδίδεται μια μεταβαλλόμενη καμπύλωση του χωροχρόνου, (βλ. Εικόνα 2). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η απόσταση δύο απομακρυσμένων σημείων να μεταβάλλεται περιοδικά και ανάλογα με την αρχική τους απόσταση. Δύο παρατηρητές που απέχουν αρχικά απόσταση L θα διαπιστώσουν μια σχετική μεταβολή $\Delta L/L$ στην απόστασή τους ανάλογη με το πλάτος h του διερχόμενου κύματος, δηλαδή $\Delta L = hL$. Επομένως, όσο μεγαλύτερο το πλάτος των βαρυτικών κυμάτων, τόσο μεγαλύτερες—και προφανώς ευκολότερα ανιχνεύσιμες—είναι και οι μεταβολές της απόστασης.

Ο καλύτερος τρόπος για να μετρήσουμε απειροελάχιστες μεταβολές αποστάσεων είναι η συμβολομετρία. Στην πράξη, με τη συμβολομετρία διαπιστώνουμε καθυστερήσεις στην επιστροφή φωτεινών σημάτων τα οποία εκπέμπονται από μία πηγή προς δύο διαφορετικές κατευθύνσεις και ανακλώμενα επιστρέφουν σ' αυτήν αφού διανύσουν περίπου ίσες αποστάσεις (βλ. Εικόνα 3). Αν οι αποστάσεις είναι ακριβώς ίσες με L , τότε τα φωτεινά σήματα θα συμβάλουν σε φάση· αν όμως υπάρχουν έστω και απειροελάχιστες διαφορές μεταξύ των διανυόμενων αποστάσεων (περίπου ΔL), τότε κατά τη συμβολή τους τα σήματα θα δημιουργήσουν κρυσσούς συμβολής που θα αλλάζουν περιοδικά, ανάλογα με τη συχνότητα του διερχόμενου βαρυτικού κύματος. Η σημερινή τεχνολογία επιτρέπει να μετρούμε μεταβολές αποστάσεων της τάξεως του $\Delta L = 10^{-16}$ cm. Συνεπώς, αν οι βραχίονες του συμβολομέτρου έχουν μήκος της τάξεως των 3 km, τότε θα έχουμε τη δυνατότητα να μετρούμε περιοδικές μεταβολές στη γεωμετρία του χωροχρόνου (βαρυτικά κύματα) της τάξεως του 10^{-21} . Αυτές οι «αστρονομικά» μικρές κλίμακας μετρήσεις είναι σήμερα εφικτές με τη νέα γενιά ανιχνευτών βαρυτικών κυμάτων που έχουν τεθεί σε λειτουργία σε διάφορες χώρες.

Σημαντικές και παρατηρήσιμες μεταβολές του βαρυτικού πεδίου είναι δυνα-



Εικόνα 3. Ο συμβολομετρικός ανιχνευτής βαρυτικών κυμάτων VIRGO στην Πίζα της Ιταλίας έχει βραχίονες μήκους 3 km. Δύο αντίστοιχοι ανιχνευτές με βραχίονες μήκους 4 km βρίσκονται σε λειτουργία στις ΗΠΑ (πρόγραμμα LIGO ενώ στο Αννόβερο βρίσκεται και ο αγγλογερμανικός ανιχνευτής GEO, με βραχίονες 600m. Σε καλλιτεχνική απεικόνιση φαίνεται να «αιωρείται» ο υπο σχεδίαση διαστημικός ανιχνευτής LISA. Το διαστημικό συμβολόμετρο LISA αποτελείται από τρία διαστημόπλοια που σχηματίζουν ένα ισόπλευρο τρίγωνο το οποίο ακολουθεί την τροχιά της Γης περί τον Ήλιο. Οι τρεις βραχίονές του έχουν ο καθένας μήκος 5.000.000 km και πρακτικά συνιστούν δύο συμβολόμετρα. Ο ανιχνευτής αναμένεται να τεθεί σε λειτουργία περί το 2018 και θα είναι ευαίσθητος σε συχνότητες από 10^{-4} έως 10^{-2} Hz.

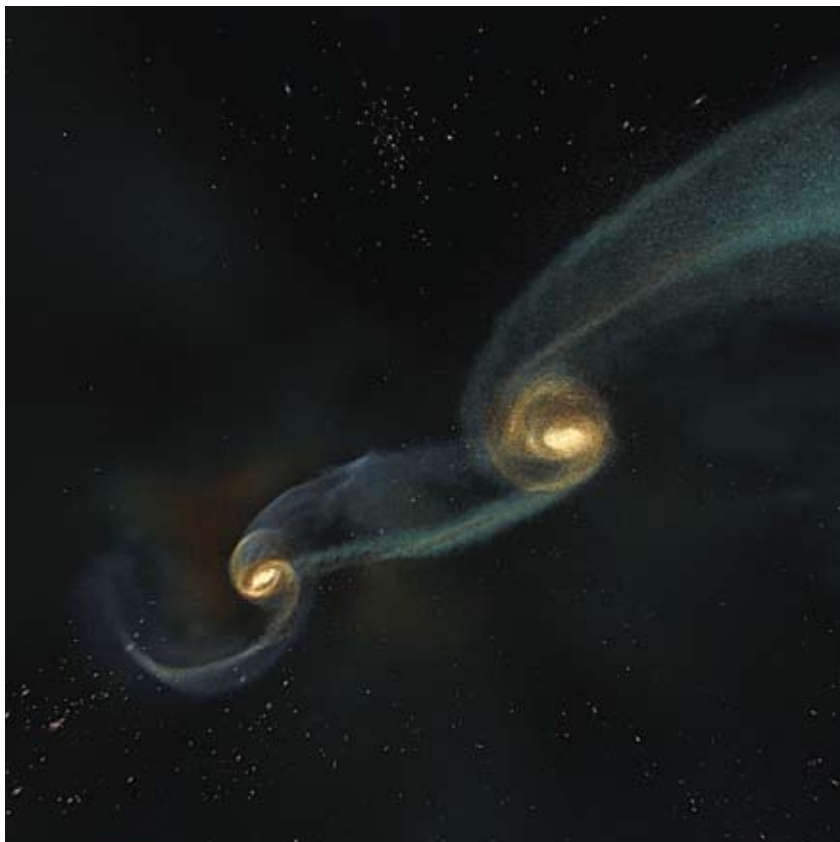
τές μόνον αν έχουμε μεγάλες συγκεκριμένες ύλης σε μικρό χώρο, οι οποίες και αντιστοιχούν σε μεγάλες καμπυλώσεις του χωροχρόνου. Μολονότι αστρονομικά αντικείμενα που πληρούν αυτό την προϋπόθεση υπάρχουν διάσπαρτα στον Γαλαξία μας όπως και σε κάθε γαλαξία, συνήθως δεν υφίστανται τόσο δραματικές αλλαγές ώστε να εκπέμψουν ισχυρά βαρυτικά κύματα. Εντούτοις, με τις ευαισθησίες των ανιχνευτών που έχουν επιτευχθεί, μας δίνεται η δυνατότητα να ανιχνεύουμε περίπου ένα σημαντικό φαινόμενο το χρόνο! Οι ανιχνευτές βαρυτικών κυμάτων τέθηκαν σε δοκιμαστική λειτουργία και συνέλλεξαν δεδομένα κατά την περίοδο 2005-7. Παρότι, δεν ανακάλυψαν καμμία πηγή βαρυτικών κυμάτων, κατάφεραν να θέσουν όρια στο βαθμό παραμόρφωσης της κρούστας των αστερών νετρονίων. Δεδομένου ότι μια συχνότητα συμβά-

ντων, 1-2 ετησίως, δεν θεωρείται ικανοποιητική, οι ανιχνευτές τέθηκαν εκτός λειτουργίας για επί μέρους βελτιώσεις οι οποίες αναβάθμισαν την ευαισθησία τους κατά 2-3 φορές. Από τις αρχές του Ιουλίου του 2009 οι ανιχνευτές λειτουργούν αναβαθμισμένοι με ικανότητα να δούν περί τα 10 συμβάντα το χρόνο. Προγραμματίζεται να λειτουργήσουν με αυτή την ευαισθησία ως τις αρχές του 2011 και στη συνέχεια θα υποστούν μια ακόμη αναβάθμιση με σκοπό να βελτιωθεί η ευαισθησία τους κατά ακόμη 3-4 φορές. Μια τέτοια βελτίωση θα επιτρέπει την ανίχνευση, μετά το 2013, περί των 3 συμβάντων ημερησίως.

Πηγές βαρυτικών κυμάτων

Ποιες είναι όμως οι πιο σημαντικές πηγές βαρυτικών κυμάτων και γιατί αξίζει τον κόπο να τις παρατηρήσουμε; Κατ'

αρχάς, θα αναφερθούμε στο πλέον εντυπωσιακό αστρονομικό φαινόμενο, τις εκρήξεις των υπερκαινοφανών. Κατά τη διάρκεια της έκρηξης, το μεγαλύτερο μέρος της ύλης του άστρου εκτινάσσεται στο Διάστημα (και αργότερα μπορεί να συμμετάσχει στην γένεση νέας γενιάς αστερών αλλά και πλανητών), ενώ το κεντρικό του τμήμα καταρρέει και σχηματίζει έναν αστέρα νετρονίων (με πυκνότητες που αγγίζουν τα τετράκις εκατομμύρια τόνους ανά κυβικό εκατοστό) ή μια μελανή οπή. Στη φάση της δημιουργίας αυτών των υπέρπυκνων σωμάτων με τα πανίσχυρα βαρυτικά πεδία, ακόμη και μικρές μεταβολές αρκούν για να παραχθούν ισχυρά και ανιχνεύσιμα βαρυτικά κύματα. Τα εν λόγω κύματα μεταφέρουν πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά των υπέρπυκνων αστρικών καταλοίπων, τα οποία είναι αδύνατον να διακρίνουμε με παρατηρήσεις στο ηλε-



Εικόνα 4. Τα συγκλίνοντα ζεύγη αστρικών μελανών οπών, αστέρων νετρονίων αλλά και ζεύγη γιγάντιων μελανών οπών που ελοχεύουν στα κέντρα των γαλαξιών, θα είναι στο μέλλον η συχνότερα ανιχνευόμενη πηγή βαρυτικών κυμάτων.

κτρομαγνητικό φάσμα επειδή τα εκτινασσόμενα εξωτερικά στρώματα αποκρύπτουν κάθε ηλεκτρομαγνητική πληροφορία που διαφεύγει από το εσωτερικό τους. Αντίθετα, τα βαρυτικά κύματα διαπερνούν ανενόχλητα αυτό το περίβλημα και μεταφέρουν μοναδικής σπουδαιότητας πληροφορίες για το μέγεθος του κεντρικού σώματος αλλά και για τη δομή της ύλης σε αυτές τις τρομακτικά μεγάλες πυκνότητες, πυκνότητες που αποκλείεται να επιτευχθούν ποτέ σε επίγεια εργαστήρια. Εκρήξεις υπερκαινοφανών σημειώνονται αρκετά συχνά στο Σύμπαν. Οι παρατηρήσεις δείχνουν ότι στον Γαλαξία μας η συχνότητά τους κυμαίνεται από 2 έως 3 συμβάντα ανά αιώνα, αλλά, δεδομένου ότι υπάρχει πλέον η δυνατότητα να εντοπίζονται τα σήματά τους και από άλλους γαλαξίες, αναμένεται ότι σύντομα θα ανιχνεύεται περίπου ένα συμβάν την εβδομάδα. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση της δημιουργίας μελανής οπής. Ο λόγος είναι ότι το «κύκνειο άσμα», δηλαδή τα τελευταία βαρυτικά κύματα που εκπέμπονται από την αστρική ύλη καθώς καταρρέει για να εξαφανιστεί διαπαντός πίσω από τον απροσπέλαστο

ορίζοντα της μελανής οπής, έχει εντελώς ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Αυτό θα μας επιτρέψει, για πρώτη φορά, να παρατηρήσουμε απευθείας τη δημιουργία της μελανής οπής και την τρομακτική στρέβλωση που υφίσταται ο χωρόχρονος γύρω της.

Το διπλό σύστημα PSR1913+16 ναι μεν απετέλεσε την πρώτη έμμεση ένδειξη για την ύπαρξη των βαρυτικών κυμάτων, επιβεβαιώνοντας έτσι τις προβλέψεις του Einstein, πλην όμως δεν αποτελεί και κάτι το σπάνιο. Αντίθετα, περίπου ένα στα τέσσερα αστρικά αντικείμενα έχει συνοδό. Τα αστρικά ζεύγη βρίσκονται σε αέναη περιφορά περί το κοινό τους κέντρο βάρους, με αποτέλεσμα το βαρυτικό τους πεδίο να μεταβάλλεται περιοδικά και, κατά συνέπεια, να εκπέμπονται βαρυτικά κύματα. Η εκπομπή βαρυτικής ακτινοβολίας αφαιρεί κινητική ενέργεια από το ζεύγος, με αποτέλεσμα η απόστασή των μελών του να ελαττώνεται αργά αλλά σταθερά. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα ζεύγη συμπαγών σωμάτων. Όταν η απόσταση μεταξύ των δύο σωμάτων ελαττωθεί σημαντικά, τότε η εκπομπή βαρυτικής ακτινοβολίας αυξάνεται και η προσέγγισή τους προ-

χωρεί πλέον με ραγδαίους ρυθμούς, έως ότου τελικά συγκρουστούν. Πρόκειται για ένα φαινόμενο σχετικά σπάνιο, το οποίο στον Γαλαξία μας συμβαίνει μόλις μία φορά κάθε 1 εκατομμύριο χρόνια, αλλά τα ποσά της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας είναι τεράστια, με αποτέλεσμα τα βαρυτικά τους σήματα να είναι «ορατά» ακόμη και από τις εσχατιές του Σύμπαντος.

Τα κύματα της «δημιουργίας»

Η Μεγάλη Έκρηξη, η οποία στάθηκε η απαρχή της διαστολής του Σύμπαντος, αποτελεί το σημείο συνάντησης της αστροφυσικής με τη φυσική υψηλών ενεργειών. Συνεχείς παρατηρήσεις ολοένα και υψηλότερης ακρίβειας από τους αστροφυσικούς και διαδοχικά θεωρητικά μοντέλα από τους θεωρητικούς φυσικούς συνετέλεσαν ώστε να διαμορφωθεί η εικόνα που έχουμε σήμερα για τον τρόπο με τον οποίο εξελίχθηκε το Σύμπαν αμέσως μετά τη Μεγάλη Έκρηξη. Ειδικά τα πρόσφατα αποτελέσματα από τον WMAP (δορυφόρο ανίχνευσης μικροκυματικής ακτινοβολίας) έχουν συνεισφέρει με μοναδικό τρόπο στην κατανόηση αρκετών λεπτομερειών της Μεγάλης Έκρηξης αλλά και, κυρίως, της γεωμετρίας του Σύμπαντος. Ο WMAP, αλλά και μερικά χρόνια νωρίτερα ο COBE, έδωσαν μια μοναδική εικόνα της μορφής του Σύμπαντος περί τα 380.000 έτη μετά τη Μεγάλη Έκρηξη. Αυτό το υπόβαθρο θερμικής ακτινοβολίας από το πρώιμο Σύμπαν έπεται κατά πολύ του υποβάθρου νετρίνων (που δεν έχει ανιχνευθεί ακόμη), το οποίο μεταφέρει πληροφορίες για την εποχή περί το 1 sec μετά τη Μεγάλη Έκρηξη. Αλλά ήδη πολύ πριν να συμπληρωθεί το πρώτο δευτερόλεπτο, βαρυτικά κύματα εκπέμπονταν από τις διάφορες ανωμαλίες που υπήρξαν στη δομή του πρώιμου Σύμπαντος. Για παράδειγμα, εκπομπή βαρυτονίων έχουμε στο ξεκίνημα της πληθωριστικής φάσης του Σύμπαντος, περίπου στα 10^{-32} sec, και τα βαρυτόνια αυτά θα πρέπει να επιζούν ως σήμερα λόγω της ασθενούς τους απορρόφησης από την ύλη. Μολονότι στις μέρες μας τα βαρυτικά κύματα από τη Μεγάλη Έκρηξη έχουν πλέον εξασθενήσει σημαντικά —όπως άλλωστε συμβαίνει και με τη θερμική ακτινοβολία—, θα είναι εντούτοις ανιχνεύσιμα τόσο από την νέα γενιά επίγειων συμβολομέτρων όσο και από το διαστημικό συμβολόμετρο LISA (βλ. Εικόνα 3) ενώ και μελλοντικοί πιο ευαίσθητοι ανιχνευτές της μι-

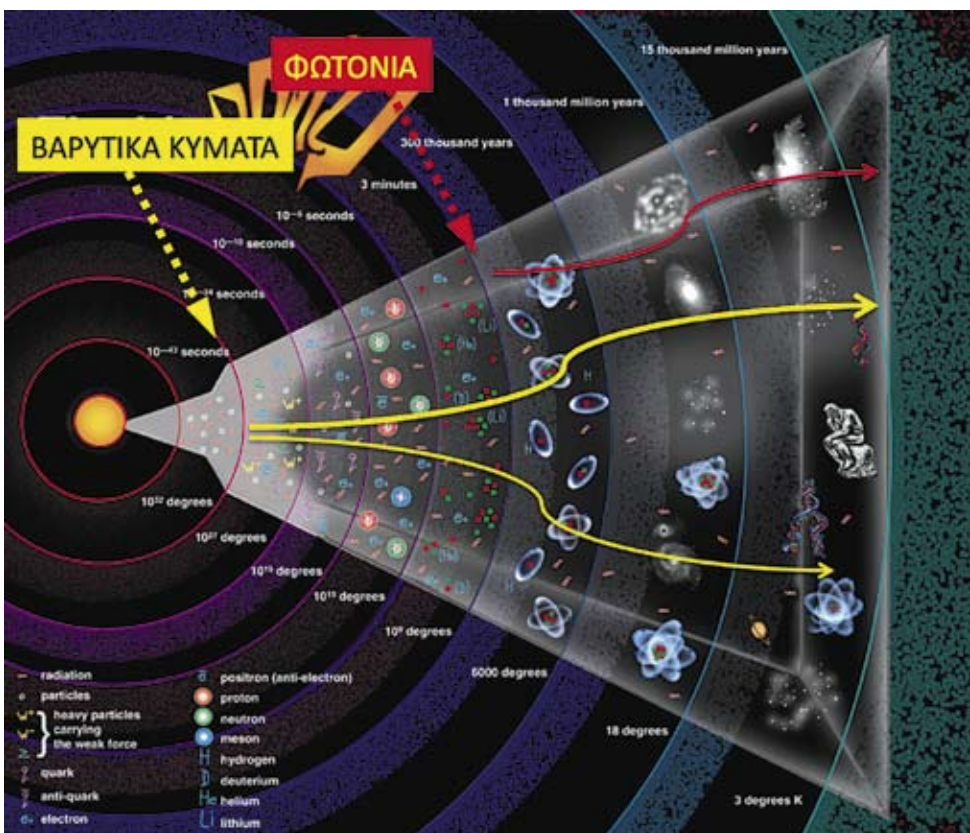
κροκουατικής ακτινοβολίας υποβάθρου θα είναι σε θέση να διακρίνουν ίχνη της βαρυτικής ακτινοβολίας υποβάθρου. Η ανίχνευσή αυτών των κυμάτων θα δώσει μοναδική πληροφορία για τα πολύ πρώιμα στάδια του Σύμπαντος, πληροφορία που είναι αδύνατον να εξαχθεί με άλλον τρόπο.

Αμφισβητώντας τον Αϊνστάιν!

Κλείνοντας, θα πρέπει να επισημάνουμε ότι από την τελική σύγκρουση δύο μελανών οπών αναμένουμε για πρώτη φορά να εξετάσουμε την ακρίβεια των εξισώσεων Einstein. Μέχρι σήμερα όλες

οι μετρήσεις που αφορούν την ακρίβεια της ΓΘΣ έχουν γίνει σε σχετικά ασθενή ή, στην καλύτερη περίπτωση, σε μετρίως ισχυρά βαρυτικά πεδία, όπου η καμπύλωση του χωροχρόνου είναι σχετικά μικρή και τα πειράματα επιβεβαιώνουν τη θεωρία. Όταν όμως συγκρούονται δύο μαύρες τρύπες, ο χωροχρόνος υφίσταται τη μέγιστη δυνατή παραμόρφωση: αυτή την παραμόρφωση τη «φωτογραφίζουν» τα εκπεμπόμενα βαρυτικά κύματα και μεταφέρουν την εικόνα της στους ανιχνευτές μας. Από την άλλη πλευρά, χάρις στους περίπλοκους αριθμητικούς κώδικες που αναπτύχθηκαν τα τελευταία χρόνια με βάση τη θεωρία του Einstein, υπάρχει η δυνατότητα προσομοίωσης

της σύγκρουσης δύο μελανών οπών με υπολογιστή. Μια ενδεχόμενη ασυμφωνία ανάμεσα στα παρατηρούμενα βαρυτικά κύματα και στα αναμενόμενα με βάση τα μοντέλα των αριθμητικών υπολογισμών θα αποβεί πιθανότατα «καταστροφική» για τη θεωρία της βαρύτητας του Einstein, δεδομένου ότι θα δείξει ότι η θεωρία του είναι ικανοποιητική μόνο για ασθενή ή για μετρίως ισχυρά βαρυτικά πεδία και ότι απαιτείται μια νέα και βελτιωμένη θεωρία για τη βαρύτητα. Χάρις στα βαρυτικά κύματα, λοιπόν, ίσως μέσα στην επόμενη πενταετία μπορέσουμε τελικά να απαντήσουμε στο ερώτημα «είχε ο Einstein δίκιο σε όλα;».



Εικόνα 5. Τα βαρυτικά κύματα από τη Μεγάλη Έκρηξη προέρχονται από τα πρωταρχικά στάδια της γέννησης του Σύμπαντος, περίπου 10^{-32} sec μετά τη Μεγάλη Έκρηξη. Αντίθετα, τα πρώτα νετρίνα απελευθερώνονται μετά το πρώτο δευτερόλεπτο, ενώ διακριτές πηγές φωτονίων εμφανίζονται περί τα 380.000 έτη μετά τη Μεγάλη Έκρηξη.

Βιογραφικά στοιχεία του Κωνσταντίνου Κόκκοτα



Καθηγητής στο Τμήμα Φυσικής του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσ/νίκης (ΑΠΘ) με αντικείμενο τη «Θεωρία Σχετικότητας», κατέχει την Έδρα «Θεωρητικής Αστροφυσικής» στο Πανεπιστήμιο του Τύμπιγκεν της Γερμανίας. Γεννήθηκε το 1959 στη Θεσ/νίκη και έλαβε πτυχίο Μαθηματικών από το ΑΠΘ, στη συνέχεια Μάστερ στα Εφαρμοσμένα Μαθηματικά και στην Αστρονομία από το Πανεπιστήμιο της Ουαλίας και Διδακτορικό από το Τμήμα Φυσικής του ΑΠΘ. Υπηρετεί από το 1990 στο Τμήμα Φυσικής του ΑΠΘ διαδοχικά σε όλες τις βαθμίδες. Εξελέγη το 2006 καθηγητής στο Τύμπιγκεν και το 2007 στη Θεσ/νίκη. Είναι εκλεγμένο μέλος στο Διοικητικό Συμβούλιο της Παγκόσμιας Επιστημονικής Εταιρείας για τη Βαρύτητα και Κοσμολογία, Γραμματέας της Ευρωπαϊκής Εταιρείας για τη Βαρυτική Φυσική και μέλος σε πολλές εθνικές και διεθνείς επιστημονικές ενώσεις. Τα ερευνητικά του ενδιαφέροντα σχετίζονται με την εφαρμογή της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας στη μελέτη της δυναμικής των αστέρων νετρονίων και των μελανών οπών αλλά και με τις διαδικασίες παραγωγής και ανίχνευσης βαρυτικών κυμάτων. Έχει συγγράψει μεγάλο αριθμό επιστημονικών εργασιών σε διεθνή περιοδικά.

Κοσμολογία: η Επιστήμη της Γένεσης & Εξέλιξης του Σύμπαντος

Μανώλης Πλειώνης

Ινστιτούτο Αστρονομίας & Αστροφυσικής, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών

Περίληψη

Η Κοσμολογία παρόλο που προσπαθεί να δώσει απάντηση σε θεμελιώδη ερωτήματα, ερωτήματα που έθεσε ο άνθρωπος από την αυγή του πολιτισμού, είναι μια σχετικά νέα επιστήμη, και θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως επιστήμη του 20ου αιώνα. Το ερώτημα «Πώς δημιουργήθηκε το Σύμπαν και ο Άνθρωπος» –στο οποίο μέχρι πρόσφατα η απάντηση αναζητιόταν μόνο στο χώρο της Φιλοσοφίας και της Θρησκείας– άπτεται πλέον της Επιστήμης και των μεθοδολογιών της. Ωστόσο η ιστορική διαδρομή που διάνυσε η ανθρώπινη νόηση για να φτάσει στο σημείο να μελετά με αυστηρά επιστημονικές μεθόδους την ίδια τη γένεση και εξέλιξη του Σύμπαντος είναι πολύ μακρά και έχει περάσει μέσα από δαιδαλώδεις λαβύρινθους αναζήτησης. Τελικά στις αρχές του 20ου αιώνα με την ανάπτυξη της φασματοσκοπίας, των μεγάλων τηλεσκοπίων αλλά και με την θεμελίωση της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας, η Κοσμολογία κατέκτησε την θέση της, περίοπτη μάλιστα, ανάμεσα στις σύγχρονες επιστήμες.

1. Εισαγωγή

Κάνοντας μια μικρή ιστορική διαδρομή των κοσμολογικών αντιλήψεων μέσα στους αιώνες, δεν μπορούμε παρά να σταματήσουμε στην αρχαία Ελλάδα και να θαυμάσουμε τις φιλοσοφικές αναζητήσεις και τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξαν οι πρόγονοί μας παρατηρώντας τη Φύση. Οι αρχαίοι Έλληνες στοχαστές, ιδιαίτερα οι Ίωνες, ήταν οι πρώτοι στην ιστορία του ανθρώπινου πολιτισμού που απέρριψαν τις μυστικιστικές δοξασίες και τις μυθολογικές διηγήσεις περί της γένεσης του κόσμου –όπως αυτές που κυριαρχούσαν στους λαμπρούς πολιτισμούς της Ανατολής αλλά και που δυστυχώς κυριάρχησαν και στον Ελλαδι-

κό χώρο και πάλι τους τελευταίους προχριστιανικούς αλλά και μεταχριστιανικούς αιώνες. Αποπειράθηκαν λοιπόν οι Ίωνες να εξηγήσουν το Σύμπαν παρατηρώντας διεξοδικά τα φαινόμενα, χρησιμοποιώντας βέβαια και αναλυτικές καταγραφές από προγενέστερους πολιτισμούς (Ασσυριακό, Βαβυλωνιακό αλλά και Αιγυπτιακό), και ερμηνεύοντάς τα, βάση αυτών που σήμερα ονομάζουμε Φυσικές επιστήμες. Πολλές φορές προσέγγισαν με εκπληκτική διορατικότητα σύγχρονες επιστημονικές αλήθειες, που για να τις κατακτήσει η ανθρωπότητα χρειάστηκε η συσσώρευση γνώσης δεκάδων αιώνων. Παραδείγματος χάριν, δεκαοκτώ περίπου αιώνες πριν τον Κοπέρνικο, ο Αρίσταρχος ο Σάμιος προτείνει, σε ένα κείμενο που δυστυχώς δεν έχει σωθεί (το γνωρίζουμε από μεταγενέστερες αναφορές), το Ηλιοκεντρικό σύστημα: «υποτίθεται γάρ τά απλανέα των άστρων και τόν άλιον μένειν ακίνητον, τάν δέ γαν περιφέρεσθαι περί τόν άλιον κατά κύκλου περιφέρειαν, ός έστιν έν μέσω τώ δρόμω κείμενος». Είναι βέβαιο ότι ο Αρίσταρχος ο Σάμιος βασίστηκε τόσο στην Πυθαγόρεια κοσμολογία (όπως την διατύπωσε ο Φιλόλαος) που θεωρούσε ότι η Γη δεν βρίσκεται στο κέντρο του Σύμπαντος αλλά περιστρέφεται, μαζί με τον ήλιο και τους άλλους πλανήτες, γύρω από ένα κοινό κέντρο, το *Κεντρικό Πυρ*, όσο και στο συμπέρασμα του *Ηρακλείδη του Ποντικού* ότι ο Ερμής και η Αφροδίτη περιστρέφονται γύρω από τον Ήλιο (για το οποίο βασίστηκε στο ότι η λαμπρότητα τους μεταβάλλεται με τον χρόνο και ότι έχουν μια μέγιστη γωνιακή απόκλιση από τον Ήλιο που ποτέ δεν υπερβαίνουν). Η Ηλιοκεντρική άποψη δεν έγινε αποδεκτή από το φιλοσοφικό και θρησκευτικό κατεστημένο της εποχής, που αποδεχόταν την κυρίαρχη Αριστοτελική φιλοσοφική θεώρηση σύμφωνα με την οποία η Γη, η κατοικία Θεών και ανθρώπων, ήταν το κέντρο του Σύμπαντος.

Χωρίς να αναφερθώ σε άλλους σπουδαίους στοχαστές της αρχαιότητας, μιας και κάτι τέτοιο είναι έξω από τον σκοπό του άρθρου αυτού, θα προχωρήσω στην καταγραφή των σύγχρονων κοσμολογικών απόψεων.

2. Θεωρία της μεγάλης Έκρηξης (Big-Bang Theory)

Η σύγχρονη επιστήμη θεωρεί ότι το κοσμολογικό μοντέλο που πιο ορθά ανταποκρίνεται στην φυσική πραγματικότητα είναι αυτό της «Μεγάλης Έκρηξης». Το μοντέλο αυτό βασίζεται στην Γενική Θεωρία της Σχετικότητας του Einstein, και θεμελιώθηκε σε θεωρητικό επίπεδο από τους Gamow, Herman & Alpher και σε πειραματικό επίπεδο από τον Hubble στο πρώτο μισό του προηγούμενου αιώνα. Το μοντέλο αυτό υποστηρίζει ότι το Σύμπαν είναι δυναμικά εξελισσόμενο και «γεννήθηκε» με μία έκρηξη από μία αρχικά υπέρπυκνη και υπέρθερμη κατάσταση η οποία δημιούργησε τον ίδιο τον χώρο και τον χρόνο. Σήμερα η επιστήμη δεν θεωρεί αναγκαία την ύπαρξη χρονικά προσδιορισμένης γέννησης του Σύμπαντος, μιας και στο αρχέγονο Σύμπαν, την λεγόμενη εποχή του Planck, πριν δηλαδή από τον χρόνο 10^{-43} δευτερόλεπτα, η γνωστή φυσική παύει να μπορεί να ερμηνεύσει τα φαινόμενα και η έννοια του χρόνου πιθανώς διαφοροποιείται. Επομένως, πιθανολογείται και η ύπαρξη του Σύμπαντος και πριν από την αρχή της διαστολής του, σε μια «εν δυνάμει» κατάσταση.

Το δυναμικά εξελισσόμενο Σύμπαν αποτελεί θεωρητική πρόβλεψη της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας (ΓΘΣ) του Einstein, παρόλο που ο ίδιος ο Einstein, όπως και οι περισσότεροι στοχαστές διαχρονικά, πίστευε σε ένα στατικό Σύμπαν. Εξαιτίας αυτής της πίστης έχασε την ευκαιρία να διατυπώσει αυτός τη γενική λύση των εξισώσεων πεδίου, λύση που βρήκε πρώτος ο Friedman, ένας νεαρός Ρώσος μαθηματικός το 1922 και που απέδειξε ότι στην γενική τους μορφή, οι λύσεις των εξισώσεων της ΓΘΣ προβλέπουν διαστολή του Σύμπαντος. Το 1929 αποδείχτηκε και πειραματικά, με την ανακάλυψη της μετάθεσης στο ερυθρό του φάσματος των γαλαξιών, από τον Hubble. Δυστυχώς ο Friedman δεν πρόλαβε να δει την επιβεβαίωση των λύσεων του, μιας και πέθανε το 1925.

Οι Gamow, Herman & Alpher προέβλεψαν ότι καθώς το Σύμπαν διαστέλλεται και ψύχεται με την πάροδο του χρόνου, συντίθενται τα δομικά συστατικά της ύλης, τα πρωτόνια, τα νετρόνια, τα ηλεκτρόνια αλλά και τα νετρίνα. Στις αρχικές υψηλές θερμοκρασίες και έως ότου το Σύμπαν να ψυχθεί στους 4000 °K περίπου, η αρχική θερμική ακτινοβολία είναι συζευγμένη με την ύλη λόγω των ελεύθερων ηλεκτρονίων που δρουν σαν ανακλαστήρες της ακτινοβολίας. Μόλις η θερμοκρασία πέσει και τα ηλεκτρόνια ενωθούν με τους ατομικούς πυρήνες, η ακτινοβολία απελευθερώνεται και ξεκινάει το αέριο ταξίδι της στο Σύμπαν, για να φτάσει στους δορυφορικούς ανιχνευτές μας ως το υπόβαθρο ακτινοβολίας μικροκυμάτων (εικόνα 3). Ταυτόχρονα, κάτω από την επίδραση της βαρύτητας, οι αρχικά μικρές διαταραχές στην πυκνότητα της βαρυονικής ύλης (που είναι η γνωστή μας ύλη, αποτελούμενη από τα πρωτόνια και νετρόνια) αρχίζουν να μεγαλώνουν, επηρεασμένες από τις ήδη υπάρχουσες διαταραχές στην «σκοτεινή» ύλη (δες ένθετο), που ξεκίνησαν να μεγαλώνουν πολύ νωρίτερα. Εν τέλει οι διαταραχές αυτές δημιουργούν τις γνωστές δομές του Σύμπαντος, τα άστρα,

τους γαλαξίες, τα κβάζαρ, τις ομάδες και τα σμήνη γαλαξιών. Πρέπει να αναφέρουμε ότι δεν γνωρίζουμε ακόμα την σύνθεση της «σκοτεινής» ύλης, αλλά γνωρίζουμε την ύπαρξη της από τις βαρυτικές αλληλεπιδράσεις που δημιουργεί. Σημειώστε δε, ότι δεν παράγει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (φως δηλαδή) και αποτελεί το 26% περίπου της συμπαγούς υλο-ενέργειας. Η συνήθης (βαρυονική) ύλη αλληλεπιδρά μέσω όλων των γνωστών μορφών ενέργειας, αλλά αποτελεί μόνο το 4% της συνολικής υλο-ενέργειας του σύμπαντος.

Η δυναμική εξέλιξη του Σύμπαντος εξαρτάται από το συνολικό ποσό της ύλης και της ενέργειας που περιέχει. Μπορούμε να χωρίσουμε την εξέλιξη του Σύμπαντος σε τρεις βασικές περιπτώσεις, που εξαρτώνται από το συνολικό ποσό υλο-ενέργειας που περιέχει:

- Εάν περιέχει μικρό ποσό υλο-ενέργειας σημαίνει ότι το Σύμπαν θα διαστέλλεται επ' άπειρον («Ανοικτό» Σύμπαν) διότι η ιδιο-βαρύτητα του δεν είναι αρκετά ισχυρή για να σταματήσει την αρχική διαστολή.
- Εάν περιέχει μεγάλο ποσό υλο-ενέργειας τότε στο Σύμπαν συμβαίνει

το αντίθετο και επομένως θα αρχίσει να συστέλλεται μετά από κάποιο χρονικό διάστημα έως ότου συνθλιβεί («Κλειστό» Σύμπαν).

- Τέλος υπάρχει η περίπτωση του κρίσιμου ποσού υλο-ενέργειας, που είναι το σύνορο μεταξύ των δύο παραπάνω περιπτώσεων. Σε αυτή την περίπτωση όμως, το πως διαστέλλεται το Σύμπαν εξαρτάται και από το είδος της υλο-ενέργειας που περιέχει. Πχ, μπορεί το συνολικό ποσό της ύλης (σκοτεινής και βαρυονικής) στο Σύμπαν να έχει την κρίσιμη τιμή, οπότε το Σύμπαν θα συνεχίσει να διαστέλλεται με επιβραδυνόμενο σταθερό ρυθμό. Μπορεί όμως στην δυναμική του Σύμπαντος να συνεισφέρει και η λεγόμενη «σκοτεινή» ενέργεια, μια άγνωστης μορφής ενέργεια που τα αποτελέσματα της προσομοιάζουν αυτό που ονομάζεται στις ταινίες επιστημονικής φαντασίας «αντι-βαρύτητα» (δες το σχετικό ένθετο). Σε αυτή την περίπτωση το συνολικό ποσό της ύλης είναι μικρότερο από την κρίσιμη τιμή αλλά συμπληρώνεται από την «σκοτεινή ενέργεια» οπότε μετά από κάποιο χρόνο, τις ελκτικές δυνάμεις της συμπαγούς

Τι είναι η Σκοτεινή Ύλη;

Σαν «σκοτεινή ύλη» εννοούμε την ύλη που δεν εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και αποτελείται από σωματίδια που αλληλεπιδρούν με την συνήθη (βαρυονική) ύλη αλλά και μεταξύ τους μόνο μέσω της βαρυτικής αλληλεπιδράσης. Θέλει μια προσοχή εδώ γιατί υπάρχει και βαρυονική ύλη που δεν εκπέμπει έντονα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (πχ. τα λεγόμενα ετερόφωτα σώματα, πλανήτες, κλπ) που παρόλο που δεν εκπέμπουν μέσω της διαδικασίας σύντηξης ατομικών πυρήνων, εκπέμπουν συνήθως θερμική ακτινοβολία, και επομένως δεν αποτελούν μέρος αυτού που ορίζουμε ως «σκοτεινή ύλη».

Η ύπαρξη της σκοτεινής ύλης πιθανολογήθηκε ήδη από τα μέσα του περασμένου αιώνα από τον Ελβετό αστρονόμο Zwicky με την μελέτη των ιδίων κινήσεων γαλαξιών μέσα σε σμήνη γαλαξιών (αρχικά του σμήνους τη Κόμης). Βρέθηκε ότι οι σχετικές ταχύτητες των γαλαξιών, μελών του σμήνους, ήταν κατά πολύ μεγαλύτερες από ότι προέβλεπε το βαρυτικό δυναμικό του σμήνους, υπολογισμένου χρησιμοποιώντας τις μάζες των μελών γαλαξιών (στη βάση της έντασης της ακτινοβολίας τους). Σύμφωνα με αυτούς τους υπολογισμούς η ταχύτητα διαφυγής των γαλαξιών ήταν τέτοια που θα έπρεπε να έχουν «διαφύγει» και το σμήνος να έχει διαλυθεί. Η πιθανή ύπαρξη σκοτεινής ύλης δίνει λύση σε αυτό το πρόβλημα μιας και αυξάνει κατά πολύ το πραγματικό βαρυτικό δυναμικό του σμήνους σε επίπεδα που να επιτρέπουν οι γαλαξίες να έχουν τις παρατηρούμενες ταχύτητες δίχως να θέτουν σε κίνδυνο την ακεραιότητα του σμήνους. Επιπλέον, μεταγενέστερες μελέτες

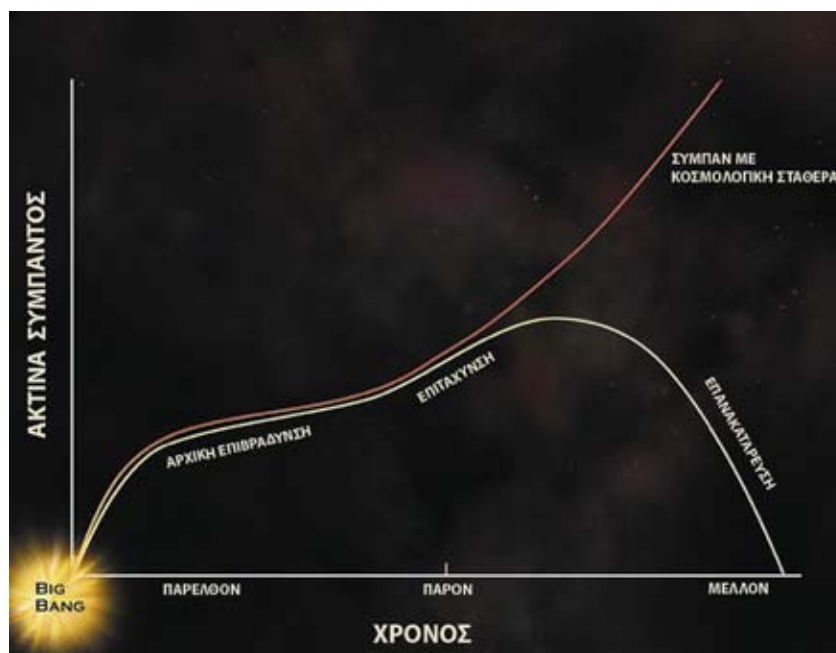
των επίπεδων καμπύλων περιστροφής των σπειροειδών γαλαξιών πάλι ερμηνεύθηκαν με την ύπαρξη σκοτεινής ύλης. Υπάρχουν βέβαια και άλλες πιθανές λύσεις των παραπάνω προβλημάτων που έχουν να κάνουν κυρίως με την λεγόμενη «μεταβαλλόμενη βαρύτητα» (modified gravity). Αυτές οι λύσεις προϋποθέτουν ότι η δύναμη της βαρύτητας δεν έχει σε όλες τις κλίμακες τη γνωστή αναλογία με την απόσταση (αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης) ή ακόμα ότι η σταθερά της βαρύτητας, G , μεταβάλλεται (απειροελάχιστα) με την κλίμακα. Όμως αυτές οι θεωρίες δεν έχουν μπορέσει, μέχρι στιγμής, να ερμηνεύσουν όλα τα φαινόμενα που ερμηνεύονται με την ύπαρξη σκοτεινής ύλης. Επιπλέον, η ύπαρξη της σκοτεινής ύλης προβλέπεται και από τις παρατηρήσεις των διαταραχών του υποβάθρου μικροκυμάτων αλλά και από τις μελέτες της σηματοποίησης των κοσμικών δομών. Είναι πολύ σημαντικό να πούμε ότι χωρίς την ύπαρξη σκοτεινής ύλης δεν μπορούμε να ερμηνεύσουμε την ίδια την ύπαρξη κοσμικών δομών, μιας και οι διαταραχές του υποβάθρου της ακτινοβολίας μικροκυμάτων, όντας διαταραχές και της πυκνότητας της βαρυονικής ύλης του πρώιμου σύμπαντος (θυμηθείτε ότι ύλη και ακτινοβολία είναι συζευγμένες), είναι πολύ μικρές για να δημιουργήσουν σμήνη γαλαξιών και τους ίδιους τους γαλαξίες. Μόνο αν υπάρχει σκοτεινή ύλη (η οποία δεν συζεύγνυται με την ακτινοβολία και της οποίας οι διαταραχές πυκνότητας άρχισαν να μεγαλώνουν πολύ πριν αποδεσμευτούν η βαρυονική ύλη και η ακτινοβολία) δημιουργούνται ικανά μεγάλες διαταραχές στην πυκνότητα της, μέσα στις οποίες πέφτουν τα αποδεσμευμένα βαρυόνια και δημιουργούν, με την πάροδο του χρόνου, τις γνωστές κοσμικές δομές.

ιδιο-βαρύτητας τις υπερνικά η «σκοτεινή ενέργεια». Δρώντας σαν «αντιβαρύτητα» αντιστρέφει την αρχική επιβράδυνση της διαστολής σε επιτάχυνση και έτσι το σύμπαν συνεχίζει να διαστέλλεται αλλά με επιταχυνόμενο ρυθμό (σχήμα 1).

Είναι σημαντικό τώρα να αποσαφηνίσουμε τα κύρια παρατηρησιακά δεδομένα που υποστηρίζουν την ορθότητα του γενικού πλαισίου της Θεωρίας της «Μεγάλης Έκρηξης», και που δεν ερμηνεύονται στο σύνολο τους από καμία άλλη θεωρία, όπως παραδείγματος χάριν αυτή της «Σταθερής Κατάστασης» των Hoyle, Bondi και Gold, ούτε φυσικά από κυκλοφορούσες ιδεοληψίες που αρνούνται τα φαινόμενα στο όνομα καθαρά φιλοσοφικών αντιρρήσεων. Αυτά είναι: (1) η διαστολή του Σύμπαντος, (2) η ύπαρξη του υπόβαθρου ακτινοβολίας μικροκυμάτων (που είναι ο «απόηχος» της αρχικής θερμικής ακτινοβολίας, που προαναφέραμε) και (3) η γένεση και τα ποσοστά των ελαφρών χημικών στοιχείων (βασικά του Υδρογόνου, Ηλίου και Λίθιου).

3. Διαστολή του Σύμπαντος

Μία από τις σημαντικότερες ανακαλύψεις που βοήθησαν στην θεμελίωση της σύγχρονης κοσμολογίας είναι η διαστολή του Σύμπαντος. Πρώτος ο Hubble το 1929 με παρατηρήσεις δικές του αλλά και του Shlipher από το 1914, ανακάλυψε ότι **το φάσμα του φωτός των γαλαξιών είναι μετατοπισμένο προς το ερυθρό**, που σύμφωνα με το φαινόμενο Doppler σημαίνει ότι οι γαλαξίες απομακρύνονται από τον παρατηρητή και επιπλέον ότι η ταχύτητα απομάκρυνσης των γαλαξιών είναι τόσο μεγαλύτερη όσο πιο μακριά βρίσκονται οι γαλαξίες (νόμος του Hubble).



Σχήμα 1. Σε αυτή την εικόνα φαίνεται σχηματικά η εξέλιξη της ακτίνας του Σύμπαντος με τον κοσμικό χρόνο για την περίπτωση ύπαρξης «σκοτεινής ενέργειας» με την μορφή Κοσμολογικής σταθεράς. Δύο από τις πιθανές μελλοντικές εξελίξεις του Σύμπαντος παρουσιάζονται: Η περίπτωση του Ευκλείδειου Σύμπαντος (δηλαδή Σύμπαν το οποίο περιέχει την κρίσιμη τιμή συνολικής υλο-ενέργειας) φαίνεται με την ροζ καμπύλη ενώ η περίπτωση κλειστού Σύμπαντος (δηλαδή Σύμπαν το οποίο περιέχει παραπάνω από την κρίσιμη τιμή συνολικής υλο-ενέργειας αλλά και Κοσμολογική σταθερά) φαίνεται με την λευκή καμπύλη.

Η μετάθεση του φάσματος ενός γαλαξία προς το ερυθρό βρίσκεται συνήθως από την μετατόπιση γραμμών εκπομπής ή απορρόφησης κάποιων στοιχείων σε σχέση με τις αντίστοιχες γραμμές στα γήινα εργαστήρια. Η ερμηνεία Doppler της ερυθρής μετάθεσης δεν είναι η μοναδική. Έχουν προταθεί και άλλες ερμηνείες όπως αυτή σύμφωνα με την οποία το φως διασπάται σε φωτόνια χαμηλότερης ενέργειας (πιο ερυθρά) με πιθανότητα διάσπασης ανάλογη του μήκους κύματος του φωτονίου. Άλλη πιθανή ερμηνεία της ερυθρομετάθεσης είναι η απώλεια ενέργειας των φωτονίων που προέρχονται από μακρινούς γαλαξίες λόγω των διαδο-

χικών συγκρούσεων τους με μεσοαστρικά ηλεκτρόνια ή και φωτόνια. Καμία από αυτές τις ερμηνείες δεν επιβεβαιώθηκε πειραματικά και συνεπώς η μοναδική ερμηνεία η οποία είναι συμβατή με όλες τις μέχρι σήμερα παρατηρήσεις και πειράματα είναι αυτή που συνήθως αναφέρεται σαν ερμηνεία Doppler. Ανεξάρτητα δε από τις παρατηρήσεις, αυτή η ερμηνεία συμβαδίζει απόλυτα με τις απαιτήσεις της ΓΘΣ για ένα μη στατικό Σύμπαν, πρόβλεψη που έγινε πριν καν παρατηρηθούν οι ερυθρομεταθέσεις των γαλαξιών και που αποτελεί μεγάλη επιτυχία της ΓΘΣ.

Είναι σημαντικό να κατανοήσουμε τι εννοούμε όταν λέμε ότι το Σύμπαν δι-

Τι είναι η Σκοτεινή Ενέργεια;

Είναι μια άγνωστης μορφής δύναμη, που λειτουργεί αντίθετα από αυτή της βαρύτητας, έχει καταστατική εξίσωση με αρνητική πίεση, δηλαδή απωστικά, και έχει προταθεί ως η αιτία της παρατηρούμενης επιταχυνόμενης διαστολής του Σύμπαντος. Δύο κυρίως μοντέλα «σκοτεινής ενέργειας» έχουν προταθεί. Η **Κοσμολογική σταθερά** (που την πρωτοεισηγήσε ο Αϊνστάιν σαν μια σταθερά στις εξισώσεις πεδίου της ΓΘΣ για να πάρει στατικές λύσεις), που είναι μια ενέργεια σταθερή στον χρόνο. Η φυσική της ερμηνεία ως η ενέργεια του κενού υποστηρίζεται από την κβαντομηχανική (από το γεγονός ότι ζεύγη σωμάτων & αντισωματίων δημιουργούνται από το κενό και παρόλο που ζουν ελάχιστα δίνουν στο κενό μη-μηδενική δυναμική ενέργεια).

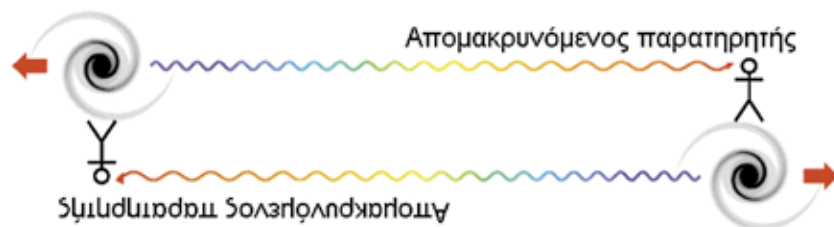
Στην ΓΘΣ όλες οι μορφές ενέργειας δημιουργούν βαρυτικό πεδίο, άρα και η ενέργεια του κενού. Όμως έχουμε το παράδοξο ότι όλες οι θεωρίες που προβλέπουν την ύπαρξη κοσμολογικής σταθεράς προβλέπουν επίσης ότι πρέπει να έχει τιμή 10^{120} φορές περίπου μεγαλύτερη από από αυτή που μετράμε παρατηρησιακά με τους μακρινούς υπερκαινοφανείς αστέρες.

Το άλλο μοντέλο «σκοτεινής ενέργειας» είναι η «**πεμπτούσια**» (**quintessence**) που είναι ένα δυναμικό πεδίο του οποίου η ενέργεια εξελίσσεται στον χρόνο και πιθανώς και στο χώρο. Υπάρχουν όμως και προσπάθειες ερμηνείας της επιταχυνόμενης διαστολής του Σύμπαντος στην βάση φυσικών διεργασιών που βασίζονται σε σχετικά πιο γνωστή φυσική (κοσμικά μαγνητικά πεδία, αλληλεπιδρούσα σκοτεινή ύλη, κλπ), προσπάθεια στην οποία συμμετέχουν ενεργά και Έλληνες αστροφυσικοί.

αστέλλεται. Σκεπτόμενοι κλασικά θα μπορούσαμε (εσφαλμένα) να θεωρήσουμε ότι βρισκόμαστε στο κέντρο του διαστελλόμενου Σύμπαντος και για αυτό βλέπουμε όλους τους γαλαξίες να απομακρύνονται από εμάς. Αυτή είναι μια εσφαλμένη θεώρηση, γιατί το κέντρο της διαστολής δεν βρίσκεται στο τρισδιάστατο χώρο αλλά στην τέταρτη διάσταση, το χρόνο (συμπίπτει δηλαδή το κέντρο της διαστολής με $t=0$). Στην πραγματικότητα ο κάθε γαλαξίας απομακρύνεται από κάθε άλλο γαλαξία με ταχύτητα ανάλογη της απόστασης τους. Σκεφτείτε το ως εξής: Βρισκόμενοι στον γαλαξία Α βλέπουμε όλους τους άλλους γαλαξίες να απομακρύνονται. Εάν μεταφερθούμε νοητά στον γαλαξία Β πρέπει να κάνουμε διανυσματική αφαίρεση έτσι ώστε στο σύστημα αναφοράς του να βρισκόμαστε σε ηρεμία. Διαπιστώνουμε τώρα ότι ο γαλαξίας Α απομακρύνεται από εμάς (Β) με την ίδια ταχύτητα που απομακρυνόταν ο Β όταν βρισκόμασταν στον γαλαξία Α (δες σχήμα 2).

4. Υπόβαθρο Ακτινοβολίας Μικροκυμάτων

Μία από τις σημαντικότερες ανακαλύψεις του δεύτερου μισού του 20^{ου} αιώνα είναι η ύπαρξη μιας διάχυτης ακτινοβολίας μικροκυμάτων που είναι το ίχνος της αρχικά υπέρθερμης και υπέρπυκνης κατάστασης του πρώιμου Σύμπαντος. Η ανακάλυψη αυτή που έγινε το 1965, ουσιαστικά επιβεβαίωσε την Θεωρία της «Μεγάλης Έκρηξης» και έδωσε στους Penzias και Wilson το βραβείο Νόμπελ το 1978. Σε αυτήν την αρχικά υπέρθερμη και υπέρπυκνη κατάσταση του Σύμπαντος, η ακτινοβολία και η ύλη ήταν συζευγμένες λόγω της ύπαρξης ελεύθερων ηλεκτρονίων που δρούσαν σαν ανακλαστήρες της ακτινοβολίας. Όταν η θερμοκρασία του Σύμπαντος έπεσε περίπου στους 4000 βαθμούς Kelvin (380000 χρόνια μετά την «Μεγάλη Έκρηξη»), τα ηλεκτρόνια, τα πρωτόνια και τα νετρόνια συνέθεσαν τα άτομα των ελαφρών στοιχείων (κύρια του υδρογόνου) και έτσι η ακτινοβολία ελεύθερα διαχύθηκε στο Σύμπαν. Αυτή η θεωρία προβλέπει ότι λόγω της διαστολής του Σύμπαντος η θερμοκρασία της ακτινοβολίας αυτής ελαττώνεται με τον χρόνο και πρέπει να είναι σήμερα 2.73 βαθμοί Kelvin καθώς και ότι το φάσμα της ακτινοβολίας πρέπει να έχει την μορφή φάσματος θερμικής προέλευσης



Σχήμα 2. Σε αυτή την εικόνα φαίνεται σχηματικά ένα κύμα όπως το «βλέπει» ένας κινούμενος παρατηρητής. Το κύμα φωτός ξεκινά, για παράδειγμα, στο ιώδες (όπως φαίνεται στο σχήμα) και το λαμβάνει ο απομακρυνόμενος παρατηρητής στο ερυθρό μέρος του φάσματος.

(φάσμα μέλανος σώματος). Και οι δύο προβλέψεις επιβεβαιώθηκαν περίτρανα και με την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια στις αρχές της δεκαετίας του '90 από τα παρατηρησιακά δεδομένα του δορυφόρου COBE της NASA (<http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/cobe/>).

Ο δορυφόρος αυτός, όπως και ο πρόσφατος δορυφόρος WMAP

(<http://wmap.gsfc.nasa.gov/>), ουσιαστικά φωτογράφισαν το Σύμπαν όταν είχε ηλικία μόλις 2/100000 της σημερινής του ηλικίας (δες σχήμα 3).

Επιπλέον, με τις ακριβείς μετρήσεις των διαταραχών θερμοκρασίας της ακτινοβολίας μικροκυμάτων, που έγιναν με το πείραμα BOOMERanG, που διεξήχθη στην Ανταρκτική χρησιμοποιώντας ένα αερόστατο, αλλά κυρίως με τις παρατηρήσεις του δορυφόρου WMAP της NASA, βρέθηκε ότι πράγματι ο ρυθμός διαστολής του Σύμπαντος είναι εξαιρετικά κοντά σε αυτόν της κρίσιμης τιμής, πράγμα που υποδηλώνει ότι η γεωμετρία του Σύμπαντος είναι η Ευκλείδεια.

5. Η γένεση και τα ποσοστά των ελαφρών χημικών στοιχείων

Στην υπέρπυκνη και υπέρθερμη κατάσταση του πρώιμου Σύμπαντος τα πρωτόνια και νετρόνια, που είναι τα στοιχειώδη σωματίδια από τα οποία αποτελούνται οι πυρήνες των ατόμων όλων των στοιχείων της φύσης, όντας μη συζευγμένα σε άτομα, δημιουργούν τους πυρήνες των ελαφρύτερων στοιχείων της ύλης (Υδρογόνου, Ήλιου, Δευτερίου, Λίθιου). Οι συγκεκριμένες αρχικές αναλογίες αυτών των στοιχείων εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες μεταξύ των οποίων είναι ο ρυθμός διαστολής του Σύμπαντος δηλαδή ο ρυθμός ψύξης του, ο λόγος πρωτονίων/νετρονίων κ.α. Η θεωρία του «Μεγάλης Έκρηξης» προβλέπει συγκεκριμένες αναλογίες των ελα-

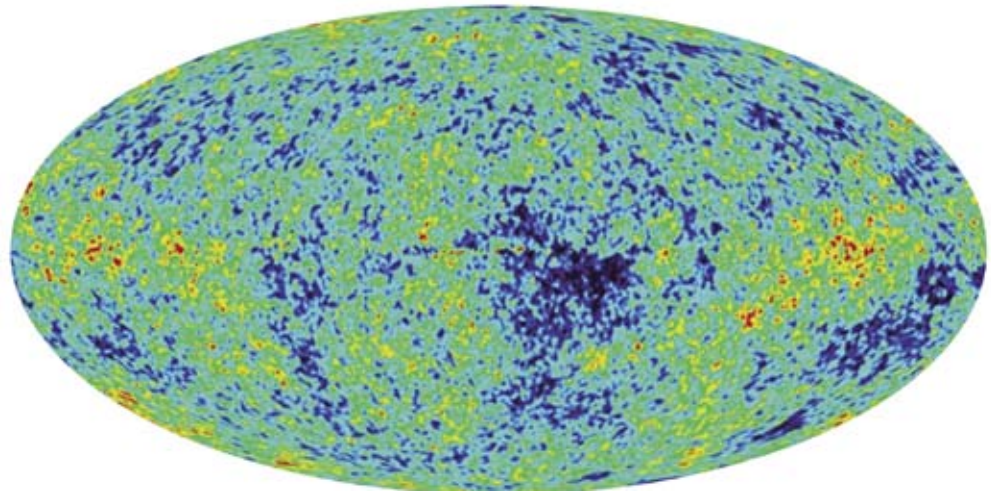
φρών αυτών στοιχείων, πρόβλεψη που επίσης έχει επιβεβαιωθεί από τις παρατηρήσεις.

6. Συμπεράσματα

Πρόσφατα, με τις παρατηρήσεις των διαταραχών θερμοκρασίας του υποβάθρου μικροκυμάτων (κυρίως με τα πειράματα BoomeranG και τον δορυφόρο WMAP της NASA), βρέθηκε ότι το Σύμπαν έχει το κρίσιμο ποσό υλο-ενέργειας και άρα είναι «Ευκλείδιο». Επιπλέον, με την ανάλυση μακρινών υπερκαινοφανών αστέρων (supernovae), που παρατηρήθηκαν σχετικά πρόσφατα με τα μεγαλύτερα τηλεσκόπια της Γης, βρέθηκε ότι το Σύμπαν διαστέλλεται με επιταχυνόμενο ρυθμό. Αυτό συνεπάγεται την συμμετοχή της «σκοτεινής ενέργειας» στο συνολικό ποσό της συμπαντικής υλο-ενέργειας. Σχηματικά μπορούμε να δούμε πως διαστέλλεται το Σύμπαν σε αυτή την περίπτωση στην εικόνα 1, όπου η ροζ καμπύλη αντιστοιχεί στην εξέλιξη της ακτίνας του Σύμπαντος σαν συνάρτηση του χρόνου. Λίγο μετά την αρχική έκρηξη η διαστολή αρχίζει να επιβραδύνεται λόγω της ιδιοβαρύτητας του ίδιου του Σύμπαντος, δηλαδή λόγω των ελκτικών δυνάμεων που ασκεί στο ίδιο το Σύμπαν η περιεχομένη εντός του υλο-ενέργεια. Μετά όμως από κάποιο χρόνο, τις ελκτικές δυνάμεις τις υπερνικά η «σκοτεινή ενέργεια» (μια έκφανση της οποίας είναι και η λεγόμενη Κοσμολογική Σταθερά) που δρα σαν μια δύναμη με αντίθετο πρόσημο από αυτό της βαρύτητας, δηλαδή δρα σαν «αντι-βαρύτητα». Έτσι η αρχική επιβράδυνση της διαστολής αντιστρέφεται και γίνεται επιτάχυνση, την οποία σήμερα μετράμε με την βοήθεια των υπερκαινοφανών αστέρων.

Είναι αξιοπερίεργο ότι η «σκοτεινή ενέργεια» συμμετέχει στο συνολικό ποσό συμπαντικής υλο-ενέργειας με ποσοστό που είναι περίπου ίσο με αυτό της

Σχήμα 3. Οι διαταραχές θερμοκρασίας του υπόβαθρου τη ακτινοβολίας μικροκυμάτων από τις παρατηρήσεις του δορυφόρου WMAP. Ουσιαστικά αποτυπώνουν το Σύμπαν όταν είχε ηλικία μόλις 380000 έτη (2/100000 περίπου της σημερινής του ηλικίας). Από αυτές τις παρατηρήσεις οι επιστήμονες μπόρεσαν να υπολογίσουν με ακρίβεια ότι το Σύμπαν είναι «Ευκλείδιο».



ύλης (σκοτεινής και βαρυονικής), γεγονός που αποτελεί το λεγόμενο «πρόβλημα σύμπτωσης», μιας και δεν υπάρχει κανείς *a priori* φυσικός λόγος για αυτή την σύμπτωση. Επιπλέον, υπάρχει και το πρόβλημα γιατί η συμπαντική υλο-ενέργεια έχει ακριβώς την κρίσιμη τιμή και όχι οποιανδήποτε από την απειρία των τιμών που θα μπορούσε να έχει.

Μια πιθανή λύση στα προβλήματα αυτά μπορεί να αναζητηθεί στο γεγονός ότι εάν το Σύμπαν διαστελλόταν με ρυθμό πολύ μεγαλύτερο της κρίσιμης τιμής, εάν δηλαδή περιείχε πολύ μικρό συνολικά ποσό υλο-ενέργειας, τότε η βαρύτητα που ασκείται συνολικά στο Σύμπαν, από την εμπεριεχομένη εντός αυτού ύλης και ενέργειας, δεν θα ήταν σε θέση να αντιστρέψει τη διαστολή σε συστολή ούτε στις σχετικά υψηλής πυκνότητας περιοχές. Κατ' επέκταση δεν θα είχαν δημιουργηθεί οι κοσμικές δομές και τα άστρα, στον πυρήνα των οποίων δημιουργούνται τα συστατικά στοιχεία από τα οποία είναι φτιαγμένα τα έμβια όντα (οξυγόνο, άνθρακας κλπ) και η εξέλιξη των οποίων τελικά τροφοδοτεί, με αυτά τα στοιχεία, το Σύμπαν. Αντίστοιχα, εάν

το Σύμπαν διαστελλόταν με ρυθμό σημαντικά βραδύτερο της κρίσιμης τιμής, εάν δηλαδή περιείχε πολύ μεγαλύτερο συνολικά ποσό υλο-ενέργειας, τότε πάλι πριν προλάβουν να δημιουργηθούν οι κοσμικές δομές και τα άστρα, το Σύμπαν θα είχε ξανά-συσταλεί σε μία υπέρθερμη θάλασσα ακτινοβολίας. Επομένως, το γεγονός της ύπαρξης μας προϋποθέτει ότι το Σύμπαν διαστέλλεται περίπου με τον ρυθμό που μετράμε. Αυτό είναι μια έκφραση αυτού που ονομάζεται «Ανθρωπική Αρχή» (η ασθενής εκδοχή της), δηλαδή ότι η ίδια η ύπαρξη της ανθρώπινης ζωής προϋποθέτει ότι το Σύμπαν περιέχει το συγκεκριμένο ποσό υλο-ενέργειας (όπως επίσης και τις συγκεκριμένες τιμές των σταθερών τη φύσης). Πολλές φορές αυτή η αρχή χρησιμοποιείται και σαν πανάκεια για να δώσει λογικοφανή ερμηνεία σε φαινόμενα που δυσκολευόμαστε να ερμηνεύσουμε αλλά κατά την άποψη μου αυτή της η χρήση είναι εσφαλμένη και αντι-επιστημονική.

Τελειώνοντας αυτή την σύντομη παρουσίαση των βασικών στοιχείων της σύγχρονης Κοσμολογίας, επισημαίνω ότι παρόλο που γνωρίζουμε ίσως πιο πολ-

λά για την ιστορία του Σύμπαντος από ότι, παραδείγματος χάριν, για την πρώτη ιστορία του ανθρώπου ή για την λειτουργία του ανθρώπινου νου, απέχουμε ακόμη από το να γνωρίζουμε όλες τις λεπτομέρειες για τα συστατικά στοιχεία του Σύμπαντος, τις αρχικές συνθήκες αλλά και την μελλοντική εξέλιξη του. Αναμένουμε ότι στα επόμενα χρόνια ένας μεγάλος αριθμός στοχευμένων πειραμάτων, όπως το **Planck** της Ευρωπαϊκής Διαστημικής Εταιρείας (<http://sci.esa.int/science-e/www/area/index.cfm?fareaid=17>) που θα μελετήσει με εξαιρετικά μεγάλη λεπτομέρεια τις διαταραχές θερμοκρασίας του υπόβαθρου μικροκυμάτων, τα πειράματα εντοπισμού της «σκοτεινής ενέργειας», ανάμεσα στα οποία τα: **Dark Energy Survey (DES)** (<http://www.darkenergysurvey.org/>), **Joint Dark Energy Mission (JDEM)** (<http://jdem.gsfc.nasa.gov/>), **HETDEX** (<http://www.as.utexas.edu/hetdex/>) κλπ, θα δώσουν αποτελέσματα που πιστεύουμε ότι θα απαντήσουν στα περισσότερα Κοσμολογικά ερωτήματα που παραμένουν ακόμα αναπάντητα.

Βιογραφικά στοιχεία του Μανώλη Πλειώνη



Διευθυντής Ερευνών στο Ινστιτούτο Αστρονομίας και Αστροφυσικής (ΙΑΑ) του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ), έλαβε πτυχίο Μαθηματικών από το Πανεπιστήμιο Κρήτης (1983), Masters (1984) και Διδακτορικό (1989) από το Πανεπιστήμιο του Sussex της Μ. Βρετανίας. Υπήρξε ερευνητής στο Διεθνές Κέντρο Ανωτάτων Σπουδών της Τεργέστης (SISSA) και στο Διεθνές Κέντρο Θεωρητικής Φυσικής (ICTP) στην Ιταλία και είναι συνεργάτης του Ινστιτούτου Αστροφυσικής, Οπτικής και Ηλεκτρονικής του Μεξικού. Τα επιστημονικά του ενδιαφέροντα επικεντρώνονται στην Παρατηρησιακή Αστρονομία και Κοσμολογία. Έχει δημοσιεύσει μεγάλο αριθμό επιστημονικών εργασιών σε έγκυρα διεθνή περιοδικά. Έχει διοργανώσει τρία διεθνή και αρκετά εθνικά συνέδρια Κοσμολογίας και Αστροφυσικής και επιτυχείς ερευνητικές ομάδες στο ΕΑΑ. Είναι εκδότης του διαδικτυακού περιοδικού εκλαϊκευμένης Αστρονομίας του ΙΑΑ «Κοσμικές Διαδρομές» και του περιοδικού «Ινπάρχος» της Ελληνικής Αστρονομικής Εταιρείας (ΕΛ.ΑΣ.ΕΤ). Έχει διατελέσει μέλος του Διοικητικού Συμβουλίου της ΕΛ.ΑΣ.ΕΤ και είναι αντιπρόεδρος του ΔΣ για το 2008-2010. Είναι επίσης αναπληρωματικό μέλος της Εθνικής Αστρονομικής Επιτροπής. Πρόσφατα εκλέχτηκε Καθηγητής Παρατηρησιακής Αστρονομίας στο Αριστοτέλειο Παν/μιο Θεσσαλονίκης.

Σύγχρονη Παρατηρησιακή Αστρονομία Ορατού: τα μεγάλα οπτικά τηλεσκόπια

Δέσποινα Χατζηδημητρίου
Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Κρήτης

1. Εισαγωγή

Στις πιο αφιλόξενες και ερημικές βουνοκορφές του πλανήτη μας δεσπόζουν γιγαντιαία υπερσύγχρονα οπτικά τηλεσκόπια, με τα οποία οι επιστήμονες εξερευνούν τα άδυτα του Σύμπαντος, με μεγαλύτερη ακρίβεια από ποτέ άλλοτε.

Η Αστρονομία του Ορατού, όπως συνήθως αποκαλείται, αφορά στη μελέτη αστρονομικών αντικειμένων που ανιχνεύονται στη λεγόμενη «ορατή», ή «οπτική» περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (βλ. εικόνα 1), στην οποία είναι διαφανής η γήινη ατμόσφαιρα και στην οποία είναι ευαίσθητο το ανθρώπινο μάτι. Τα οπτικά τηλεσκόπια αποτελούν τον παλαιότερο τύπο τηλεσκοπίων, ενώ στις μέρες μας σχεδόν ολόκληρο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα χρησιμοποιείται για τη μελέτη των ουράνιων αντικειμένων, από τις ακτίνες γ και Χ μέχρι τα μικροκύματα και τα ραδιοκύματα, είτε από την επιφάνεια της Γης, όποτε αυτό είναι εφικτό (βλ. εικόνα 1), είτε από το διάστημα, με δορυφορικά τηλεσκόπια, όποτε η αδιαφάνεια της ατμόσφαιρας είναι απαγορευτική για επίγεια παρατήρηση.

Η αστρονομική παρατήρηση έχει τις απαρχές της στους αρχαιότετους χρόνους. Ωστόσο, η εξερεύνηση του Σύμπαντος από τον άνθρωπο με την χρήση

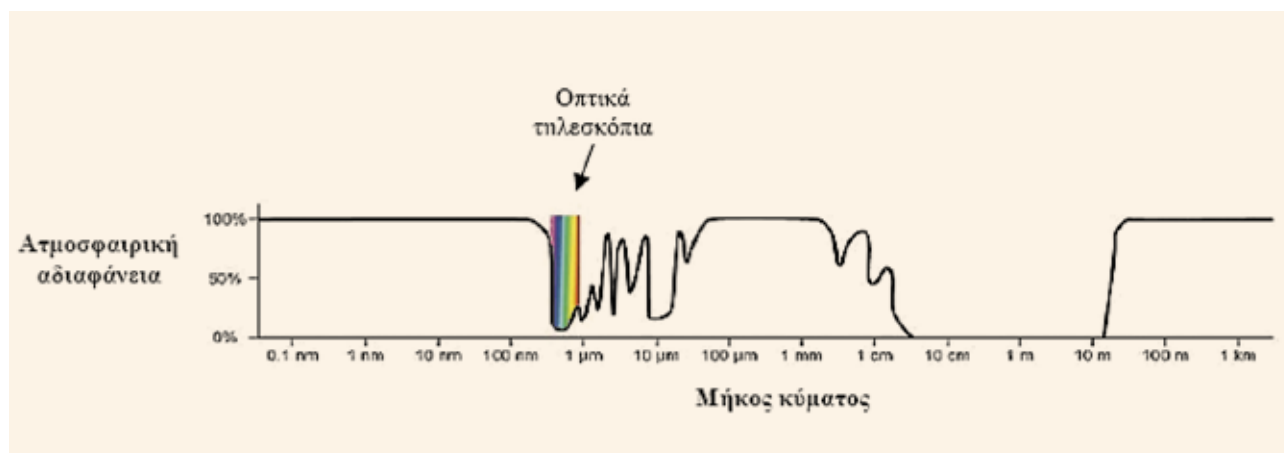
τηλεσκοπίων ξεκίνησε στις αρχές του 17^{ου} αιώνα, με το τηλεσκόπιο του Γαλιλαίου (1609). Μέσα στους επόμενους τρεις αιώνες, μέχρι τα τέλη του 19^{ου} αιώνα, η κατασκευή οπτικών τηλεσκοπίων πέρασε από πολλά στάδια εξέλιξης, με βασικούς σταθμούς την αντικατάσταση του διοπτρικού τηλεσκοπίου από το κατοπτρικό τηλεσκόπιο (το πρώτο κατοπτρικό τηλεσκόπιο κατασκευάστηκε το 1663, ενώ το τελευταίο διοπτρικό τηλεσκόπιο το 1897), την αντικατάσταση των σφαιρικών κατόπτρων από παραβολικά κάτοπτρα (Φουκώ 1857), τη χρήση επαργυρωμένου γυαλιού αντί μετάλλου κ.α.

2. Τα Οπτικά Τηλεσκόπια κατά τον 20ο αιώνα

Καθώς η ισχύς ενός τηλεσκοπίου εξαρτάται από την διάμετρο του πρωτεύοντος κατόπτρου του, τα τηλεσκόπια αποκτούν όλο και μεγαλύτερα κάτοπτρα με το πέρασμα του χρόνου. Τα μεγαλύτερα μονολιθικά κατοπτρικά τηλεσκόπια συμβατικής τεχνολογίας κατασκευάστηκαν στα μέσα και στο δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα, με μεγαλύτερα, το 5m τηλεσκόπιο Hale στο Αστεροσκοπείο Πάλomar στην Αμερική και το 6m τηλεσκόπιο BAT (Bolshoi Teleskop Azimutalnyi) του ρωσικού Αστεροσκοπείου SAO στον Καύκασο. Ωστόσο, η βαρυτική παρα-

μόρφωση των τεράστιων αυτών κατόπτρων αλλά και η μεγάλη θερμική τους αδράνεια μειώνουν σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα των λαμβανόμενων αστρονομικών ειδώλων.

Τα σημαντικότερα επιτεύγματα της οπτικής αστρονομίας του 20^{ου} αιώνα δεν οφείλονται τόσο στην αύξηση του μεγέθους των τηλεσκοπίων (τα περισσότερα και καλύτερα αυτής της εποχής ανήκουν στην τάξη των τηλεσκοπίων 4m), όσο στην ανάπτυξη της τεχνολογίας των ημιαγωγών και στην επακόλουθη αλματώδη βελτίωση (κατά περίπου δύο τάξεις μεγέθους) της φωτοσυλλεκτικής ικανότητας των νέων ηλεκτρονικών ανιχνευτών (charged coupled devices, CCDs), που έκαναν τη θριαμβευτική τους είσοδο στην παρατηρησιακή αστρονομία τη δεκαετία του '70, αντικαθιστώντας τις φωτογραφικές πλάκες. Επιπλέον, σημαντικές βελτιώσεις επήλθαν στα συστήματα στήριξης των τηλεσκοπίων, στην κατασκευή των μηχανικών και οπτικών τμημάτων τους, στη μετρολογία, αλλά και στα ηλεκτρονικά τους συστήματα και στον έλεγχο των τηλεσκοπίων και οργάνων παρατήρησης μέσω υπολογιστών, θέτοντας τις βάσεις για την τεχνολογική επανάσταση που ξεκίνησε την τελευταία δεκαετία του 20^{ου} αιώνα και που οδήγησε στην κατασκευή τεράστιων οπτικών τηλεσκοπίων.



Εικόνα 1. Η καμπύλη αδιαφάνειας της γήινης ατμόσφαιρας. Φαίνεται το ατμοσφαιρικό παράθυρο του «ορατού» και κοντινού υπέρυθρου, όπου είναι ευαίσθητα τα οπτικά τηλεσκόπια.



Εικόνα 2. Η GRANTECAN, το μεγαλύτερο τηλεσκόπιο στον κόσμο σήμερα, διαμέτρου 10.4μ, στην Ισπανία.

3. Η νέα γενιά επίγειων οπτικών τηλεσκοπίων

3.1 Ενεργός Οπτική

Τα τελευταία 15-20 χρόνια έχουν τεθεί σε λειτουργία δέκα τηλεσκόπια με διαμέτρους μεγαλύτερες των 8 μέτρων, ενώ κατά την επόμενη δεκαετία αναμένεται να λειτουργήσουν τρία τηλεσκόπια με διαμέτρους της τάξης των 30-40 μέτρων! Η επιτυχής λειτουργία τέτοιων τεράστιων τηλεσκοπίων θεωρούνταν ουσιαστικά ανέφικτη πριν από μερικά χρόνια. Όπως προαναφέρθηκε, η κατασκευή μεγάλων κατόπτρων (5 και 6μ), με τις κλασικές τεχνικές, αποδείχθηκε εξαιρετικά ακριβή και ποιοτικά μη ικανοποιητική. Για να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα βαρυτικών παραμορφώσεων, θερμικής αδράνειας και τεράστιου κόστους, ακολουθήθηκαν δύο κυρίως μεθοδολογίες, που και οι δυο βασίζονται στις αρχές της «ενεργούς οπτικής» (active optics):

1. Κατασκευή «ψηφιδωτών» κατόπτρων: η θέση κάθε «ψηφίδας¹» σε σχέση με τις γειτονικές της διορθώνεται συνεχώς –με ακρίβεια λίγων νανομέτρων– χρησιμοποιώντας ένα σύστημα από

αισθητήρες και ενεργά στοιχεία που ελέγχονται από υπολογιστές.

2. Κατασκευή πολύ λεπτών μονολιθικών κατόπτρων σχήματος μηνίσκου, των οποίων το κατάλληλο σχήμα επιτυγχάνεται με την συνεχή επαναδιαμόρφωση του κατόπτρου χρησιμοποιώντας ειδικά ενεργά στοιχεία (ρομποτικά «δάκτυλα») κάτω από το κάτοπτρο.

Με την πρώτη τεχνική είναι φτιαγμένα π.χ. το τηλεσκόπιο GRANTECAN και τα τηλεσκόπια Keck I και II, ενώ με τη δεύτερη, π.χ. το τηλεσκόπιο Subaru, και τα 4 τηλεσκόπια του VLT. Οι τεχνικές αυτές βέβαια συνοδεύονται από σημαντικές τεχνολογικές βελτιώσεις στη μέθοδο λείανσης των κατόπτρων, αλλά και στην μηχανική στήριξη και κίνηση των τηλεσκοπίων.

3.2 Προσαρμοστική Οπτική

Η απεικονιστική ικανότητα όλων ανεξαιρέτως των επίγειων τηλεσκοπίων, ακόμα και όσων βρίσκονται στο Αστεροσκοπείο Μάουνα Κέα στη Χαβάη στα περίπου 4000 μέτρα υψόμετρο, περιορίζεται σημαντικά από την υπερκείμενη τυρβώδη γήινη ατμόσφαιρα. Τα τελευ-

ταία χρόνια, χάρη στη σημαντική πρόοδο που έχει επιτευχθεί τόσο στην οπτική όσο και στην υπολογιστική τεχνολογία, έχει ελαττωθεί σημαντικά η ατμοσφαιρική παραμόρφωση των αστρονομικών ειδώλων με τη χρήση της «προσαρμοστικής οπτικής» (adaptive optics). Μια ακτίνα laser δημιουργεί μια φωτεινή κουκίδα στη ζώνη νατρίου σε υψόμετρο 90 km. Αυτή η κουκίδα χρησιμοποιείται σαν τεχνητός αστέρας² για τη μέτρηση της ατμοσφαιρικής τύρβης και εν συνεχεία επιτελείται η απαραίτητη διόρθωση του οπτικού μετώπου με το Σύστημα Προσαρμοστικής Οπτικής, που περιλαμβάνει ένα επαναδιαμορφούμενο κάτοπτρο το οποίο αλλάζει κατάλληλα το σχήμα του μέχρι και 1000 φορές το δευτερόλεπτο.

3.3 Τα μεγαλύτερα τηλεσκόπια στον κόσμο σήμερα

Το μεγαλύτερο οπτικό τηλεσκόπιο στον κόσμο σήμερα είναι το Μέγα Τηλεσκόπιο των Καναρίων Νήσων (Gran Telescopio Canarias), στο Αστεροσκοπείο Roque de los Muchachos στη νήσο Λα Πάλμα στην Ισπανία (εικόνα 2). Αποτελείται από ένα «ψηφιδωτό» κάτοπτρο, συνολικής διαμέτρου 10.4 μέτρων.

Το τηλεσκόπιο αυτό τέθηκε σε λειτουργία πρόσφατα και μόλις έκανε τις πρώτες επιστημονικές του παρατηρήσεις.

Τα επόμενα δυο μεγαλύτερα τηλεσκόπια είναι τα δίδυμα τηλεσκόπια Keck I και Keck II, το καθένα με κάτοπτρο 10 μέτρων αποτελούμενο από 36 εξαγωνικά τμήματα. Το κάθε τηλεσκόπιο έχει ύψος οκταώροφου κτηρίου και ζυγίζει 300 τόνους, ενώ λειτουργεί με ακρίβεια νανομέτρου!

Το Keck I ξεκίνησε επιστημονικές παρατηρήσεις το 1993, ενώ το Keck II το 1996. Τα τηλεσκόπια Keck βρίσκονται στην κορυφή του ανενεργού ηφαιστείου Μάουνα Κέα, στη Χαβάη και σε υψόμετρο 4.100 μέτρων. Εκεί είναι συγκεντρωμένα μερικά από τα μεγαλύτερα σύγχρονα τηλεσκόπια. Στην κορυφή αυτή υπάρχει η μισή ποσότητα οξυγόνου απ' ό,τι στην επιφάνεια της θάλασσας και οι συνθήκες για αστρονομικές παρατηρήσεις θεωρούνται εξαιρετικές (εικόνα 3).

Στον Πίνακα 1 αναφέρονται όλα τα εν λειτουργία οπτικά τηλεσκόπια στον κόσμο σήμερα, με κάτοπτρα διαμέτρου μεγαλύτερης των 8μ.

Το Ευρωπαϊκό συμβολομετρικό τηλεσκόπιο VLT (εικόνα 4) βρίσκεται στο όρος Παρανάλ στην έρημο Ατακάμα, της Χιλής, σε υψόμετρο 2600 μέτρων και ανήκει στο Ευρωπαϊκό Παρατηρητήριο του Νότιου Ημισφαιρίου (ESO). Αποτελείται από τέσσερα τηλεσκόπια διαμέτρου 8.2 μέτρων το καθένα και από τέσσερα κινητά βοηθητικά τηλεσκόπια διαμέτρου 1.8 μέτρων το καθένα. Τα τηλεσκόπια μπορούν να λειτουργήσουν μαζί, σχηματίζοντας ένα γιγαντιαίο συμβολόμετρο, το οποίο ισοδυναμεί με ένα πολύ μεγαλύτερο τηλεσκόπιο, που μπορεί να παρατηρήσει με ακρίβεια κατά 25 φορές μεγαλύτερη απ' ό,τι το κάθε ένα από τα τέσσερα τηλεσκόπια χωριστά. Αξίζει να σημειωθεί ότι χρησιμοποιώντας ένα μόνο από τα τηλεσκόπια των 8.2 μέτρων μπορεί κανείς να παρα-

τηρήσει εξαιρετικά αμυδρά αντικείμενα, 30^{ου} μεγέθους, μέσα σε μια μόνο ώρα. Το μέγεθος αυτό αντιστοιχεί σε ουράνια σώματα που είναι τέσσερα δισεκατομμύρια φορές αμυδρότερα από αυτά που μπορούμε να δούμε με γυμνό μάτι! Φανταστείτε ένα αυτοκίνητο πάνω στο φεγγάρι, με αναμμένους τους προβολείς του. Με το VLT μπορεί κανείς να διακρίνει τους δυο προβολείς σαν ξεχωριστές πηγές φωτός!

Θα πρέπει επίσης να αναφέρουμε μερικά ακόμα από τα μεγαλύτερα εν λειτουργία οπτικά τηλεσκόπια στον κόσμο, όπως το τηλεσκόπιο SALT στη Νότια Αφρική, το τηλεσκόπιο Hobby-Eberly στο Τέξας των ΗΠΑ, το Μεγάλο Διοφθάλμιο Τηλεσκόπιο (Large Binocular Telescope) στην Αριζόνα των ΗΠΑ, το Ιαπωνικό τηλεσκόπιο Subaru (στη Χαβάη) με το μεγαλύτερο μονολιθικό κάτοπτρο στον κόσμο, τα δύο τηλεσκόπια Gemini (το ένα στη Χαβάη και το άλλο στη Χιλή). Για να καταλάβουμε την



Εικόνα 3. Το Αστεροσκοπείο στη κορυφή του σβησμένου ηφαιστείου Μάουνα Κέα στη Χαβάη σε υψόμετρο 4123μ. Εδώ βρίσκονται 13 τηλεσκόπια (που παρατηρούν στο ορατό, στο υποχιλιοστομετρικό και στα ραδιοκύματα), συμπεριλαμβανομένων και τεσσάρων από τα μεγαλύτερα οπτικά τηλεσκόπια στον κόσμο (τηλεσκόπια Keck I, Keck II, Gemini-N, Subaru).

Όνομα Τηλεσκοπίου	Διάμετρος κύριου κατόπτρου (μέτρα)	Τοποθεσία	Υψόμετρο
GRANTECAN	10.4	Λα Πάλμα, Κανάριοι Νήσοι	2400μ
Keck I, KeckII	10.0 (x2) ³	Μάουνα Κέα, Χαβάη, ΗΠΑ	4123μ
SALT S.Africa Large Telescope	11.1 x 9.8 ⁴	Σάδερλαντ, Νότια Αφρική	1759μ
HET (Hobby-Eberly Telescope)	11.1 x 9.8 ⁵	Όρος Fowlkes, ΗΠΑ	2072μ
LBT Large Binocular Telescope	8.4μ (x2) ⁶	Όρος Graham, ΗΠΑ	3170μ
SUBARU	8.3μ	Μάουνα Κέα, Χαβάη, ΗΠΑ	4100μ
VLT (Very Large Telescope)	8.2μ (x4) ⁷	Όρος Παρανάλ, Χιλή	2635μ
Gemini-N	8.1μ	Μάουνα Κέα, Χαβάη, ΗΠΑ	4100μ
Gemini-S	8.1μ	Όρος Pachon, Χιλή	2737μ

Πίνακας 1. Τα μεγαλύτερα Επίγεια Οπτικά Τηλεσκόπια στον Κόσμο



Εικόνα 4. Το συμβολομετρικό τηλεσκόπιο VLT στο Ευρωπαϊκό Αστεροσκοπείο του Νότιου Ημισφαιρίου ESO, στο όρος Παρανάλ της Χιλής (υψόμετρο 2635μ). Αποτελείται από 4 τηλεσκόπια με κάτοπτρα διαμέτρου 8.2 μ το καθένα. Όταν λειτουργούν όλα μαζί σε συμβολομετρική διάταξη, η συνολική τους ισχύς ισοδυναμεί με τηλεσκόπιο διαμέτρου 16 μ. © European Southern Observatory.



Εικόνα 5. Το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble, σε απόσταση 560 Km πάνω από τη Γη, τέθηκε σε τροχιά το 1990. Το πρωτεύον κάτοπτρό του έχει διάμετρο 2.4μ. © STScI

ισχύ των σύγχρονων αυτών οργάνων, αρκεί να αναφέρουμε ότι αν «βλέπαμε τόσο καλά» όσο το τηλεσκόπιο SALT, για παράδειγμα, θα μπορούσαμε να διακρίνουμε την φλόγα ενός κεριού στο φεγγάρι με γυμνό μάτι!

Στον Ελληνικό χώρο λειτουργούν τρία τηλεσκόπια με διαμέτρους μεγαλύτερες του 1μ. Το τηλεσκόπιο διαμέτρου 1.2μ στο Κρυονέρι (1972, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών), το τηλεσκόπιο διαμέτρου 1.3μ στην κορυφή Σκίνακα του Ψηλορείτη στη Κρήτη (1995, Αστεροσκοπείο Σκίνακα⁸) και το νέο τηλεσκόπιο Αρίσταρχος, διαμέτρου 2.3μ, στον Χελμό (2009, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών).

4. Το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble

Ο κατάλογος σύγχρονων οπτικών τηλεσκοπίων θα ήταν ελλιπής χωρίς το περίφημο Διαστημικό Τηλεσκόπιο Hubble της NASA (εικόνα 5), το οποίο, αν και έχει πολύ μικρότερη διάμετρο (κάτοπτρο διαμέτρου 2.4 μέτρων) από τα μεγάλα επίγεια τηλεσκόπια που προαναφέρθηκαν, έχει συνεισφέρει μερικές από τις σημαντικότερες ανακαλύψεις στην αστροφυσική την τελευταία δεκαετία, υποβοηθούμενο από την απουσία της ατμόσφαιρας, που αποτελεί τον μεγαλύτερο εχθρό των επίγειων τηλεσκο-

πίων, παρά τις νέες επαναστατικές μεθόδους που εφαρμόζονται για την αντιμετώπισή της (προσαρμοζόμενα κάτοπτρα, και τεχνητοί αστέρες που προβάλλονται στον ουρανό με λέιζερ). Μετά την επιχείρηση επιδιόρθωσης του HST τον Μάιο 2009, αναμένεται να επαναλειτουργήσει από τον Σεπτέμβριο του 2009.

5. Η συνεισφορά των σύγχρονων οπικών τηλεσκοπίων

Με τα σύγχρονα οπτικά τηλεσκόπια, οι επιστήμονες ανακαλύπτουν πλανήτες που περιφέρονται γύρω από μακρινά άστρα,

μελετούν με μεγάλη λεπτομέρεια την γένεση και τον θάνατο των άστρων, την εξέλιξη των γαλαξιών και τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις (π.χ., εικόνα 6), ενώ έχουν καταφέρει να παρατηρήσουν ακόμα και ύλη που «καταβροχθίζεται» από γιγάντιες μαύρες τρύπες, όπως αυτή που βρίσκεται στο κέντρο του δικού μας Γαλαξία.

Μεγάλη πρόοδος έχει σημειωθεί στην κατανόηση της δομής του Σύμπαντος στο οποίο ζούμε, ποσοτικοποιώντας το περιεχόμενο του Σύμπαντος σε σκοτεινή ύλη και προσεγγίζοντας με αρκετή αξιοπιστία τη κοσμολογική σταθερά.

6. Τα επόμενα βήματα

Τα νέας γενιάς επίγεια τηλεσκόπια (διαμέτρου της τάξης των 30-40 μέτρων) που είναι υπό σχεδιασμό αναμένεται ότι θα ανοίξουν νέα παράθυρα στο Σύμπαν, επιτρέποντας μας να μελετήσουμε τον σχηματισμό των πρώτων γαλαξιών και άστρων μετά τη Μεγάλη Έκρηξη, αλλά ακόμα και τη γένεση πλανητικών συστημάτων!

Δεν θα ήταν υπερβολή να υποστηρίξουμε ότι ο 21^{ος} αιώνας θα αποδειχθεί ο χρυσός αιώνας της Αστρονομίας.



Εικόνα 6. Ζεύγος αλληλεπιδρώντων γαλαξιών (Arp 147) που φωτογραφήθηκε με το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble. © NASA, ESA and M. Livio (STScI)

Σημειώσεις

1. Η κάθε «ψηφίδα» είναι ένα εξαγωνικό κάτοπτρο διαμέτρου 1.8μ στην περίπτωση των τηλεσκοπίων Keck, και 1.9μ στην περίπτωση του τηλεσκοπίου GRANTECAN.
2. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και πραγματικός αστέρας, αν υπάρχει κάποιος αρκετά λαμπρός κοντά στην διεύθυνση παρατήρησης.
3. Λειτουργεί και ως συμβολόμετρο μηδενισμού (nulling interferometer) με τη ταυτόχρονη χρήση και των δυο τηλεσκοπίων
4. Ενεργή διάμετρος 9.8μ
5. Ενεργή διάμετρος 9.2μ
6. Τα δυο τηλεσκόπια λειτουργούν μαζί, δίνοντας ένα ισοδύναμο με μοναδικό κάτοπτρο διαμέτρου 11.8μ
7. Τα τέσσερα τηλεσκόπια λειτουργούν και συμβολομετρικά, δίνοντας ένα τηλεσκόπιο ισοδύναμο με μοναδικό κάτοπτρο διαμέτρου 16μ
8. Πανεπιστήμιο Κρήτης, Ίδρυμα Τεχνολογίας-Έρευνας και Ινστιτούτο Max Planck für Extraterrestrische Physik, Γερμανίας

Βιογραφικά στοιχεία της Δέσποινας Χατζηδημητρίου



Αναπληρώτρια Καθηγήτρια στο Τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών. Πήρε πτυχίο Φυσικής από το Πανεπιστήμιο Αθηνών (1985) και διδακτορικό στην Αστρονομία (1989) από το Πανεπιστήμιο του Εδιμβούργου. Εργάστηκε ως ερευνήτρια αστρονόμος στο Αγγλο-Αυστραλιανό Αστεροσκοπείο στην Αυστραλία και στο Ινστιτούτο Αστρονομίας του Πανεπιστημίου του Καίμπριτζ. Κατά το διάστημα 1993-2008 δίδαξε στο Τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Κρήτης αρχικά ως λέκτορας και τέλος ως αναπληρώτρια καθηγήτρια. Το 2008 εξελέγη αναπληρώτρια καθηγήτρια στο Τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών. Είναι εκλεγμένη πρόεδρος της Επιτροπής 37 και αντιπρόεδρος της Division VII της Διεθνούς Αστρονομικής Ένωσης και ισόβιο μέλος της Αμερικανικής Αστρονομικής Εταιρείας. Έχει διατελέσει αντιπρόεδρος της Ελληνικής Αστρονομικής Εταιρείας. Τα επιστημονικά της ενδιαφέροντα επικεντρώνονται στην Παρατηρησιακή Αστροφυσική και σε θέματα αστρονομικής οργανολογίας. Έχει δημοσιεύσει μεγάλο αριθμό επιστημονικών εργασιών σε έγκυρα διεθνή περιοδικά.

Η Συνεισφορά των Αρχαίων Ελλήνων στην Αστρονομία

Στράτος Θεοδοσίου

Τομέας Αστροφυσικής, Αστρονομίας και Μηχανικής, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Αθηνών

Η Αστρονομία, η μητέρα όλων των επιστημών, έχει τις ρίζες της στις αστρικές παρατηρήσεις των Βαβυλωνίων και των Αιγυπτίων. Οι ιερείς-αστρονόμοι εκείνης της περιόδου διαπίστωσαν εμπειρικά ότι οι κλιματολογικές εποχές σχετίζονταν με τη θέση του Ήλιου και των άστρων, ότι οι εκλείψεις μπορούσαν εύκολα να προβλεφθούν με την περίοδο σάρο και ότι οι αστρικοί ρυθμοί κανόνιζαν τη ροή του χρόνου.

Η Αστρονομία όμως συστηματοποιήθηκε ως επιστήμη από τους αρχαίους Έλληνες φυσιολόγους φιλοσόφους και οι απαρχές της βρίσκονται στους Ίωνες προσηγορικούς φιλοσόφους τον 6ο π.Χ. αιώνα. Τι ακριβώς όμως είναι η Αστρονομία και πως μπορούμε να την ορίσουμε; Σύμφωνα με τον κλασικό ορισμό της είναι η επιστήμη εκείνη που μελετά όλα τα ουράνια σώματα, αρχίζοντας από τη Σελήνη, τον δορυφόρο της Γης, έως τους άλλους μεγάλους πλανήτες με τους δορυφόρους τους, τους αστεροειδείς, τους μετεωρίτες, τους κομήτες και τον Ήλιο. Μελετά όμως και όλους τους άλλους αστέρες, τον Γαλαξία μας, τους γαλαξίες και τα συμπλέγματά τους, τη μεσοαστρική και τη μεσοπλανητική ύλη.

Αστρονομία, λοιπόν, που ως ονομασία προέρχεται από τις ελληνικές λέξεις άστρο + νόμος, είναι η επιστήμη, η οποία ως κύριο αντικείμενό της έχει τον προσδιορισμό των θέσεων, των διαστάσεων και των κινήσεων των ουρανίων σωμάτων, δηλαδή η επιστήμη που μελετά τους νόμους που διέπουν τα άστρα. Σκοπός της είναι επίσης και η συλλογή πληροφοριών για πρακτικούς σκοπούς της ζωής μας, όπως για τον προσανατολισμό μας τη μέρα και τη νύχτα, για τη ναυσιπλοΐα, για τη γεωργία και για τον υπολογισμό του χρόνου και των εποχών. Αυτό επιτεύχθηκε από τον Ίππαρχο, τον 2ο π.Χ. αιώνα, ο οποίος, με αφορμή την ανάληψη ενός υπερκαινοφανούς, το 134 π.Χ., μας έδωσε τον πρώτο κατάλογο των άστρων και των αστερισμών αποτυπώνοντας την αθάνατη ελληνική μυθολογία στον ουρανό. Έκτοτε ήταν ένα απλό παιχνίδισμα μνήμης ο προσανατολισμός στην ξηρά και ιδιαίτερα στη θάλασσα για τους



Εικόνα 1. Αέρηδες-Ο Πύργος των ανέμων: Τεράστιο υδραυλικό ρολόι με τους οκτώ ανέμους και ισάριθμα κατακόρυφα ηλιακά ρολόγια στις πλευρές του.

αρχαίους θαλασσοπόρους. ενασχολήσεις.

Πριν από τον Ίππαρχο, ο Όμηρος μας προσφέρει πολύτιμες αστρονομικές πληροφορίες στα σπουδαία έπη του, την *Ιλιάδα* και την *Οδύσσεια*, ενώ και ο Ησίοδος, με το περίφημο βιβλίο του *Έργα και Ημέραι*, έδωσε στην Αρχαιότητα χρήσιμες αστρονομικές πληροφορίες στους αγρότες, τέτοιες που τους βοηθούσαν στις γεωργικές και τις κτηνοτροφικές ενασχολήσεις τους.

Τον 6ο π.Χ. αιώνα με τους Μιλήσιους φιλοσόφους και την εν γένει Ιωνική Σχολή συντελέστηκε μια πραγματική επανάσταση στη φιλοσοφία και την επιστήμη. Δημιουργήθηκε η επιστημονική μεθοδολογία –θεωρία, έννοιες και αντικειμενική φυσικομαθηματική επιστήμη– που αποτελεί μέχρι σήμερα το μεγάλο επίτευγμα του ελληνικού πνεύματος.

Πράγματι, έξι αιώνες προ Χριστού, η σύνθετη επιστημονική αντίληψη, απελευθερωμένη πλέον από τον φόβο και το δέος του υπέρλογου, ανέμενε μια εφαρμοσμένη –έστω και ατελή– επιστημονική απάντηση, σ' ένα σύνολο άλλων πολυ-

πλοκότερων ανθρώπινων ερωτημάτων, στα όρια φυσικής και μεταφυσικής. Η απάντηση αυτή θα ερχόταν όχι πλέον από το ιερατείο και τη θεολογία, αλλά από μια νέα φυσική και μαθηματική φιλοσοφία, η οποία θα είχε τη δυνατότητα να ανταμείβεται νοητικά –μέσω της μαθηματικής και φυσικής ανάλυσης– κοσμικά γεγονότα που δεν είναι δυνατόν να υποπέσουν στην ανθρώπινη αντίληψή μας μέσω των ατελών ανθρώπινων αισθήσεων.

Ο επιστημονικός αγώνας που άρχισε από τότε, κινούμενος πάντα στο πλαίσιο της εφαρμοσμένης επιστήμης και της φυσικής φιλοσοφίας, συνεχίζεται μέχρι και τις ημέρες μας. Ιδιαίτερως σήμερα, που οι επιδράσεις των φυσικών επιστημών προσδιορίζουν αποφασιστικά ολόκληρη τη ζωή και την κοινωνία μας, αξίζει μια έρευνα στις φιλοσοφικές και επιστημονικές επιτεύξεις του αρχαίου ελληνικού πνεύματος, αφού πρώτοι απ' όλους παγκοσμίως οι αρχαίοι Έλληνες φιλόσοφοι έκαναν τα αποφασιστικά βήματα στην ορθολογιστική διερεύνηση των φυσικών φαινομένων και έδωσαν

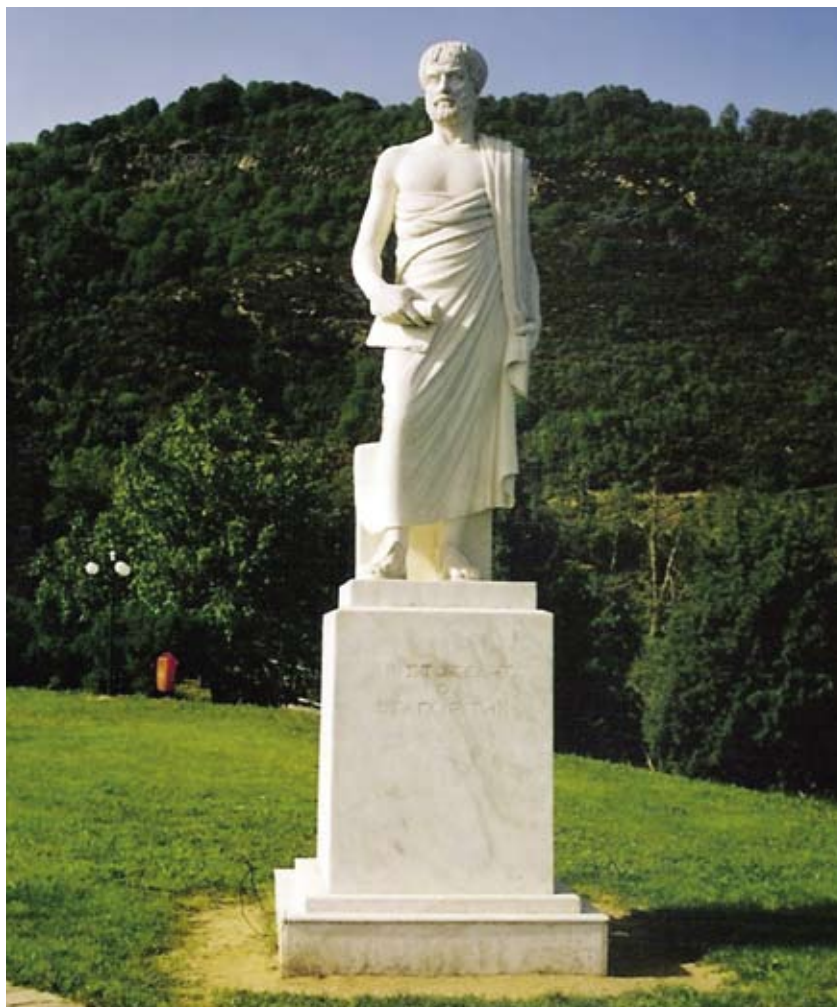
σε όλες τις επιστήμες περιεχόμενο και κατεύθυνση!

Τονίζουμε ιδιαίτερως το γεγονός ότι είναι αδύνατον να μελετηθούν εις βάθος οι σύγχρονες φυσικές θεωρίες χωρίς την οργανική συσχέτισή τους με την αρχαιοελληνική φιλοσοφική σκέψη. Μέσα σ' αυτό το πλαίσιο, η σύγχρονη φυσική, μέσω της αστροφυσικής και της θεωρητικής φυσικής, εξακολουθεί να αναπτύσσει μέχρι σήμερα τον πανάρχαιο κλάδο της κοσμολογίας, που ως στόχο της έχει τη διερεύνηση και την εξήγηση, στο μέτρο του δυνατού, του παρελθόντος, του παρόντος και του μέλλοντος του Σύμπαντος. Αυτό πραγματοποιείται μέσω της διερεύνησης της κατανομής της ύλης, καθώς και της ενέργειας στον χώρο και τον χρόνο.

Οι θεωρίες που έχουν κατά καιρούς διατυπωθεί, προκειμένου να δώσουν απάντηση στα ανθρωπίνια περί Σύμπαντος ερωτήματα, είναι πολλές και συνήθως αλληλοσυγκρουόμενες. Όλες τους όμως –για να συγκροτηθούν επιστημονικά– αναγκάζονται να αποδεχτούν και στη συνέχεια να στηριχτούν πάνω σε συγκεκριμένες φυσικές και φιλοσοφικές ερμηνείες μιας σειράς φυσικών εννοιών όπως του χρόνου, του χώρου, της ύλης και της μάζας.

Με αυτό τον τρόπο, η εξιστόρηση της εξέλιξης των ιδεών περί συγκροτήσεως του Σύμπαντος αποτελεί ταυτόχρονα και μια ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη των βασικών εννοιών που προαναφέρθηκαν, οι οποίες αποτελούν τα θεμέλια της σύγχρονης φυσικής.

Στην Ιωνία συντελείται μια πραγματική φιλοσοφική επανάσταση, αφού με τις απόψεις των Ιώνων φυσικών φιλοσόφων εκφράζεται η πλήρης αποσύνδεση του μύθου από την ορθολογιστική διανόηση. Οι Ιώνες προσωκρατικοί φιλόσοφοι δεν βασίζονται πλέον στον εμπειρισμό και τον μύθο, αλλά μέσω αυτών γίνονται οι φορείς του θεωρητικού ελληνικού πνεύματος που ερευνά και αναζητεί τις αιτίες των φαινομένων. Κάτω απ' αυτή την πρωτόγνωρη λογική, δημιουργήθηκαν νέες απόψεις, που έγιναν τα θεμέλια πάνω στα οποία στηρίχτηκε αργότερα όλο αυτό το οικοδόμημα το οποίο σήμερα ονομάζουμε ευρωπαϊκή φιλοσοφία και επιστήμη. Πράγματι, η –από τον Θαλή– αποφυγή του εμπειρισμού και η επινόηση-εισαγωγή της απόδειξης στα μαθηματικά θεωρήθηκε από τον Ιμμάνουελ Καντ (Immanuel Kant, 1724-1804) ως η βάση για τη δημιουργία του ευρωπαϊκού πολιτισμού και γι' αυτόν ακριβώς τον λόγο την εξαίρει στον πρόλογο του βιβλίου του



Εικόνα 2. Αριστοτέλης: Το άγαλμά του στα Στάγειρα. Οι απόψεις του για τη φυσική και την Αστρονομία επηρέασαν γενιές λογίων για αιώνες.

Κριτική του καθαρού Λόγου (Kritik der reinen Vernunft, 1781).

Οι Ιώνες προσωκρατικοί φιλόσοφοι στράφηκαν όχι μόνον στη μελέτη –από φυσικής απόψεως– του Κόσμου που μας περιβάλλει, αλλά προσπάθησαν στο μέτρο του δυνατού να απαντήσουν στα βασικά ερωτήματα της αρχής και της δομής –ή συγκροτήσεως– του Κόσμου μας.

Το αντικείμενο της έρευνας της Ιωνικής Φιλοσοφίας ήταν η προέλευση και η εξέλιξη του Κόσμου μας. Ειδικότερα το πρόβλημα της πρώτης αρχής, της πρώτης ουσίας, που αποτελεί το δημιουργικό αίτιο του Κόσμου. Μέσα από πλήθος φυσικών φαινομένων, οι Ιώνες φυσιολόγοι φιλόσοφοι θεωρούν φυσική μία αυτονόητη ενότητα, μία δημιουργική ουσία, την οποία μπορεί να συλλάβουμε προκειμένου να αποτελέσει το θεμέλιο βάσει του οποίου θα ερμηνευτεί ο Κόσμος μας.

Η Ιωνική φιλοσοφία ήταν κοσμολογικής φύσεως και έτσι είναι δύσκολο να διαχωριστεί η φιλοσοφία από την Κοσμογονία/Κοσμολογία ή την Αστρονομία, επομένως

και από τις Φυσικές Επιστήμες κατά τη μακρινή εκείνη εποχή.

Ο σπουδαίος Ιώνας φιλόσοφος Αναξίμανδρος, μαθητής του Θαλή, υπήρξε μάλλον ο πρώτος Έλληνας αστρονόμος, ο οποίος μίλησε για την κίνηση του πλανήτη μας γύρω από το μέσον του κόσμου, πιθανότατα τον Ήλιο. Συγχρόνως, ο Αναξίμανδρος διείδε και άλλες, θεμελιώδους σημασίας αστρονομικές αλήθειες, όπως το «μεμονωμένον» της Γης και την περί τον άξονα περιστροφή της. Πράγματι, όπως αναφέρει ο Θέων ο Σμυρναίος: *Αναξίμανδρος δε ότι η γη μετέωρος και κινείται περί το του κόσμου μέσον* {Theon Smyrn. P. 198, 18 Hill. (aus Derc.)[eudem fr. 94 Speng.]}

Η συνεισφορά του τεράστια στην Αστρονομία, στην Κοσμογονία, στη Γεωγραφία και την πρόβλεψη των σεισμών, στη Βιολογία, στη Μετεωρολογία και στη Γεωμετρία. Ένας πραγματικός πανεπιστήμονας της εποχής του.

Τις απόψεις του Αναξίμανδρου για το «μεμονωμένον» της Γης υιοθέτησαν και οι μεταγενέστεροι φιλόσοφοι από τον Εμπε-



Εικόνα 3. Πλάτων: Το άγαλμά του μπροστά από την Ακαδημία στην Αθήνα. Στο έργο του Τίμαιος παρουσιάζει τις κοσμολογικές απόψεις του.



Εικόνα 4. Αρίσταρχος ο Σάμιος: Το άγαλμά του στη Σάμο. Ο περίφημος αστρονόμος εισήγαγε, ενάντια στις απόψεις των άλλων σοφών, το ηλιοκεντρικό σύστημα.

δοκλή, που διακήρυττε ότι: «την γην είναι μετέωρον», έως τον Παρμενίδη (γύρω στο 500 π.Χ.), τον Αρίσταρχο τον Σάμιο (310-230 π.Χ.) και τον Κλεομήδη (μέσα 2ου μ.Χ. αιώνα).

Ο Λεύκιππος και Δημόκριτος είναι εκείνοι οι φυσιολόγοι φιλόσοφοι που θεωρούνται οι πατέρες της Ατομικής θεωρίας, αφού –προσπαθώντας να κατανοήσουν τη φύση της μορφοποιημένης και επιδεχόμενης τεχνικής επεξεργασίας ύλης–, διατύπωσαν πρώτοι την άποψη ότι αυτή δεν είναι ενιαία και συμπαγής, αλλά συντίθεται από άτμητα στοιχειώδη σωματίδια (τα άτομα), τα οποία είναι αιώνια, αόρατα, δεν έχουν αρχή, γεννήθηκαν αυτόματα και χωρίζονται από το κενό. Είναι ενδιαφέρον να δούμε, σύμφωνα με τον Αχιλλέα Τάτιο, πως όριζε τον Γαλαξία μας ο Δημόκριτος: *Ο Γαλαξίας αποτελείται από πολύ μικρά και πυκνά αστέρια, που σε μας φαίνονται ενωμένα λόγω του μεγάλου διαστήματος από τον ουρανό μέχρι τη Γη, όπως ένα αντικείμενο που πασπαλίζεται με πολλούς κόκκους αλατιού...* [Αχιλλεύς Τάτιος: *Των Αράτου φαινομένων προς εισαγωγήν εκ του Αχιλλέως περί του παντός* 24, εκδ. Maas, 55, 24, *Περί του γαλαξίου*].

Οι Πυθαγόρειοι υποστήριζαν μια πυροκεντρική θεωρία. Δέχονταν δηλαδή ότι το πυρ αποτέλεσε την αρχή του Κόσμου. Το πυρ, μετά τη δημιουργία, συγκεντρώθηκε

στο μέσον του Κόσμου και η έλξη του προς τα γειτονικά του υλικά μέρη συνετέλεσε στη δημιουργία, τον σχηματισμό και τη μορφοποίηση των διαφόρων σωμάτων από τα οποία αποτελείται το σφαιρικό Σύμπαν. Ο Φιλόλαος ο Κροτωνιάτης συστηματοποίησε τον Πυθαγορισμό και έγραψε σύνοψη της Πυθαγόρειας φιλοσοφίας. Υπήρξε κύριος εμπνευστής της φιλοσοφίας του ορίου και του απείρου, καθώς και της μεταξύ τους αρμονίας, μέσω του «αριθμού». Έγραψε για την μοναδικότητα του κόσμου και για τη σφαιρικότητα του. Αρχές του θεωρούσε το «πέρας» και το «άπειρο» χωρίς να διευκρινίζει τι ακριβώς είναι. Δίδασκε πως στο κέντρο του κόσμου υπάρχει το «Κεντρικό πυρ» ή η «Εστία του παντός», γύρω από την οποία χορεύουν δέκα θεία ουράνια σώματα: Η σφαίρα των απλανών αστερών, οι πέντε πλανήτες, ο Ήλιος, η Σελήνη, η Γη και η αντίκθων. Αμφισβήτησε λοιπόν το γεωκεντρικό σύστημα, προετοιμάζοντας έτσι το έδαφος για το ηλιοκεντρικό. Διόλου λοιπόν παράλογο το ότι κατηγορήθηκε για αθεΐα. Για τον Φιλόλαο η Γη κινείται διαγράφοντας λοξό κύκλο γύρω από το κεντρικό πυρ, ενώ περιστρέφεται και γύρω από τον εαυτό της. Οι υπόλοιποι πλανήτες περιφέρονταν γύρω από την Εστία κατά την ίδια διεύθυνση, σε διαφορετικά

επίπεδα και με διαφορετικές ταχύτητες. Λέγεται επίσης πως ο Πλάτων αγόρασε το έργο του Φιλόλαου έναντι του μυθικού ποσού των εκατό μνών, το μελέτησε και προς το τέλος της ζωής του άλλαξε ιδέες ως προς τον γεωκεντρισμό που υποστήριζε. Οι υπόλοιποι μαθητές του Πυθαγόρα, όπως ο Ικέτας, ο Έκφαντος, δέχονταν, όπως ο δάσκαλός τους, το πυρ σαν την «πρώτη αρχή» του κόσμου, καθώς και την σφαιρικότητα του Σύμπαντος. Υποστήριζαν την περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονά της, η οποία προκαλεί την φαινόμενη κίνηση των απλανών. Τα υπόλοιπα ουράνια σώματα ήταν γι' αυτούς ακίνητα. Ο Έκφαντος ακολουθούσε μια ατομική θεωρία πυθαγόρειας έμπνευσης συστηματοποιώντας τις δομικές μονάδες της ύλης, τις οποίες κυβερνούσε η κινητήρια δύναμη του κόσμου, την οποία ονόμασε «Νου». Ο Ηρακλείδης ο Ποντικός, μαθητής του Πλάτωνος, τροποποίησε την ατομική θεωρία του Λεύκιππου και του Δημόκριτου, λέγοντας πως τα πρώτα στον κόσμο υφιστάμενα σωματίδια δεν ήταν τα άτομα, αλλά τα εξ' αυτών συναπαρτιζόμενα μόρια.

Ουσιαστικά όμως τα αιώνια ερωτήματα που βασικά συνδέονται με την Αστρονομία και οι άνθρωποι περιμένουν απαντήσεις από αυτήν είναι: Ποιοι είμαστε; Από πού ερχόμαστε και που πάμε; Πώς και για-

τί γεννήθηκε το Σύμπαν; Τι υπήρχε πριν υπάρξει η Δημιουργία; Πώς εξελίσσεται και που θα καταλήξει το γιγαντιαίο αυτό δημιουργήμα;

Τα ερωτήματα αυτά συνεχίζουν να κεντρίζουν την ανθρώπινη φαντασία από τα πανάρχαια χρόνια μέχρι σήμερα και οι απαντήσεις έρχονται σε βραδείς ρυθμούς, ενώ πολλά από τα ερωτήματά μας είναι ακόμα αναπάντητα. Ο πρωτοπόρος ερευνητής σήμερα βρίσκεται πέρα από τα γήινα και η Αστρονομία είναι ακριβώς η επιστήμη εκείνη που μας βοηθάει να σπάσουμε τα γήινα δεσμά μας και να φτάσουμε στα ουράνια.

Οι αρχαίοι Έλληνες σοφοί, όπως ο Λεύκιππος, ο Δημόκριτος και ο Επίκουρος, μίλησαν για τους άπειρους κόσμους που ήταν διάφοροι κατά το μέγεθος, και υποστήριξαν την ύπαρξη ενός Σύμπαντος με αναρίθμητους κόσμους, γεμάτους ζωή. Πράγματι, ο Επίκουρος, 2.300 χρόνια πριν από την εποχή μας διδασκε ότι: *Οι κόσμοι είναι άπειροι και εκείνοι που είναι όμοιοι με τούτον εδώ και οι ανάμοιοι.* Επιρρεασμένος βέβαια από τον δάσκαλό του τον Μητρόδωρο τον Χίο, που έλεγε ότι: *Είναι παράλογο να βγει ένα μόνο στάχυ σε μια ολόκληρη πεδιάδα και ένας μόνο κόσμος μέσα στο άπειρο. Το ότι οι κόσμοι είναι άπειροι σε πλήθος είναι φανερό από ότι και τα αίτια είναι άπειρα...*

Η υλιστική θεώρηση του κόσμου μας, όπως διατυπώθηκε και από τους παραπάνω φιλοσόφους, βρίσκεται βέβαια αντιμέτωπη της ιδεοκεντρικής θεώρησής του, όπως διαμορφώθηκε από τον Πλάτωνα. Μετά τον Πλάτωνα και τον κοσμολογικής σημασίας *Τίμαιο*, ο μαθητής του, ο Αριστοτέλης παραμένει μέχρι σήμερα επίκαιρος με τα έργα του *Μετά τα Φυσικά* και *Περί Ουρανού*, που επηρέασαν και επηρεάζουν για αιώνες λογίους και φυσικούς.

Στη συνέχεια ο Αρίσταρχος ο Σάμιος, ο σπουδαίος αυτός αστρονόμος και μαθηματικός, διατύπωσε την ηλιοκεντρική

θεωρία, την οποία ανέσυρε από τη λήθη ο Πολωνός αστρονόμος Νικόλαος Κοπέρνικος το 15ο αιώνα μ.Χ.

Άλλοι πάλι αρχαίοι αστρονόμοι ασχολήθηκαν με τη μέτρηση της περιφέρειας της Γης, που την πέτυχαν με απλούστατες, αλλά μεγαλοφυείς, μεθόδους όπως ο πένταθλος Ερατοσθένης και ο Ποσειδώνιος ο Ρόδιος.

Από τα πανάρχαια χρόνια, οι αστρικές εποχές και οι εφαρμογές της Αστρονομίας αποτυπώθηκαν σε ναούς, σε ανάκτορα, στη ζωγραφική, στη γλυπτική και γενικά στην τέχνη. Στην αρχαία Αίγυπτο πυραμίδες ήταν τεράστια μεσημβρινά αστρονομικά όργανα και οι οβελίσκοι τεράστιοι γνώμονες. Η μελέτη της κίνησης του άκρου της σκιάς του γνώμονα επέτρεψε στους αρχαίους αστρονόμους τη μελέτη της φαινόμενης κίνησης του Ήλιου και εξ αυτής τον καθορισμό των ισημεριών και των τροπών, της διάρκειας του τροπικού έτους, τη λόξωση της εκλειπτικής και τον προσδιορισμό του γεωγραφικού πλάτους. Με τα ηλιακά ρολόγια, που ήταν βελτιωμένοι γνώμονες, μετρήθηκε ο αληθινός ηλιακός χρόνος. Η άρρηκτη διαισθητική ενότητα και σχέση που ανέπτυξε ο ανθρώπινος νους ανάμεσα στις έννοιες χρόνος και ρυθμός αποτέλεσε ένα ουσιαστικό εργαλείο μέτρησης του χρόνου από τη στιγμή που μπόρεσε αυτός να αποτυπωθεί μέσω των λειτουργιών της ανθρώπινης μνήμης και έκφρασης. Κατ' αυτόν τον τρόπο, οι αστρικοί ρυθμοί έδωσαν την έννοια του ημερολογίου, απαραίτητου στοιχείου για τις κοινωνικές ενασχολήσεις μας και για το τελετουργικό των θρησκειών. Από τότε που ο άνθρωπος δημιούργησε ημερολόγια, γνωρίζοντας πλέον τις εναλλαγές των εποχών του έτους, της περιόδου σποράς και θερισμού και την επάνοδο των αποδημητικών πτηνών, έπαψε να είναι νομάς, έφτιαξε πόλεις και εγκαταστάθηκε σ' αυτές. Δηλαδή ουσιαστικά δημιούργησε αυτό που ονομάζουμε πολιτισμό.

Στη συνέχεια στην Αίγυπτο των Πτολεμαίων έχουμε μια συστηματική προσπάθεια να βρεθεί η μαθηματική αντιστοιχία ανάμεσα στον μακρόκοσμο (Σύμπαν) και τον μικρόκοσμο (άνθρωπος). Εκεί ο άνθρωπος προσπαθούσε να δαμάσει τον θάνατο μέσω του ελέγχου της ροής του χρόνου, που προσδιορίζει τις λειτουργίες της βιολογικής φθοράς όλων των ζωντανών οργανισμών πάνω στη Γη.

Πέρα από τους όλους αυτούς τους σπουδαίους Έλληνες φυσιολόγους-φιλοσόφους θα κλείσουμε την αναφορά μας στην αρχαία ελληνική αστρονομία με τον μεγάλο Αλεξανδρινό αστρονόμο του 2ου μ.Χ. αιώνα, τον Κλαύδιο Πτολεμαίο, ο οποίος με τα καταπληκτικά έργα του και ιδιαιτέρως με τη *Μεγάλη Μαθηματική Σύνταξη*, που οι Άραβες αστρονόμοι ονόμασαν *Αλ μαγέστ*, έδωσε στους συνανθρώπους του συμπυκνωμένη ολόκληρη την αστρονομική γνώση που υπήρχε μέχρι την εποχή του.

Έκτοτε όλοι οι μετέπειτα σοφοί άντλησαν τις ιδέες τους από τις πρωτοποριακές απόψεις των αρχαίων Ελλήνων φυσιολόγων-φιλοσόφων και αστρονόμων. Από τον Ζαν Μπουριντάν, τον Νικόλ ντ' Ορέμ και τον Νικόλαο Κουζάνο, που υπήρξαν οι πρόδρομοι του Νικόλαου Κοπέρνικου έως τον Τύχο Μπράχε, τον Γαλιλαίο και τον Κέπλερ. Ομοίως, και οι σπουδαίοι, σχετικά σύγχρονοι φυσικοί και αστρονόμοι, όπως ο Μπόλτζμαν, ο Αϊνστάιν, ο Χάϊζενμπεργκ και ο Σρέντινγκερ, οι οποίοι μελετούσαν τα αρχαία ελληνικά κείμενα στο πρωτότυπο αντλώντας πρωτότυπες ιδέες από τη μελέτη των έργων των αρχαίων Ελλήνων φιλοσόφων.

Γι' αυτόν τον λόγο ο Χάϊζενμπεργκ στο βιβλίο του *Η Εικόνα της φύσης στη Σύγχρονη Φυσική* γράφει: *Είναι αδύνατον να ασχοληθεί κανείς με την Ατομική Φυσική, χωρίς να γνωρίζει την ελληνική φιλοσοφία της φύσης!*

Βιβλιογραφία

Θεοδοσίου Στράτος, *Η εκθρόνιση της Γης • Η διαπάλη του γεωκεντρικού με το ηλιοκεντρικό σύστημα*, Εκδόσεις Διάυλος, Αθήνα 2007.

Βιογραφικά στοιχεία του Στράτου Θεοδοσίου



Αναπληρωτής Καθηγητής της Ιστορίας και Φιλοσοφίας της Αστρονομίας και των Φυσικών Επιστημών στο Τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών. Τα επιστημονικά του ενδιαφέροντα στρέφονται στην Παρατηρησιακή Αστροφυσική, στη δορυφορική Φασματοσκοπία αστερών προγενεστερών φασματικών τύπων, στους διπλούς και πολλαπλούς αστέρες, καθώς και στην Ιστορία και Φιλοσοφία της Αστρονομίας και των Φυσικών Επιστημών. Είναι μέλος της Διεθνούς Αστρονομικής Ένωσης, της Ελληνικής Αστρονομικής Εταιρείας, της Ένωσης Ελλήνων Φυσικών και της Ελληνικής Μαθηματικής Εταιρείας. Έχει δημοσιεύσει μεγάλο αριθμό επιστημονικών εργασιών σε έγκυρα διεθνή περιοδικά και επιστημονικών άρθρων στον ημερήσιο και περιοδικό τύπο, ενώ κυκλοφορούν δεκατέσσερα βιβλία του στα επιστημονικά ενδιαφέροντά του. Έχει βραβευτεί για το έργο του και τα δημοσιευθέντα βιβλία του (Βραβείο Αρώνη Πανεπιστημίου Αθηνών, κ.ά.).



1609: Ο Γαλιλαίος κάνει την πρώτη παρατήρηση με τηλεσκόπιο.

2009: Παγκόσμιο Έτος Αστρονομίας. Η γιορτή ξεκίνησε.

Μην τη χάσετε!



Η ανακάλυψη ξεκινάει από εδώ!



www.astronomy.gr

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ: Πολυτεχνείου 45, 4^{ος} όρ., Λαδάδικα, Τ.Κ. 54625
τηλ.: 2310 533 902 / 2310 541 826, fax: 2310 550 672
& 6^{ος} χλμ. Οδού Θεσσαλονίκης - Θέρμης, εντός
Κέντρου Διάδοσης Επιστημών & Μουσείου Τεχνολογίας "ΝΟΗΣΙΣ"
Τ.Κ. 570 01, τηλ./fax: 2310 471 441
ΑΘΗΝΑ: Πανεπιστημίου 56, 2^{ος} όρ., Μέγαρο ΕΡΜΗΣ, Ομόνοια
Τ.Κ. 10678, τηλ.: 210 3845102 / 210 38 42 080, fax: 210 3842030
e-mail: planitario@astronomy.gr

ΕΠΙΣΗΜΟΣ
ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΟΣ



- ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΑ
- ΚΙΑΛΙΑ
- ΔΙΟΠΤΡΕΣ
- ΒΙΒΛΙΑ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ
- ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ
- ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΑ
- ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ
- ΕΞΥΓΙΝΑ ΔΩΡΑ