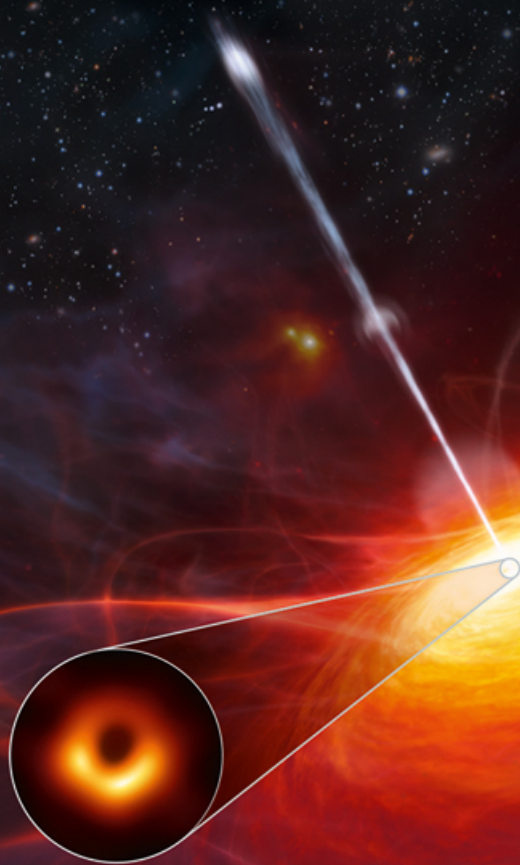


Κανάρης Τσίγκανος
Ομότιμος Καθηγητής του Πανεπιστημίου Αθηνών

Το Εκπληκτικό Σύμπαν

100 ΧΡΟΝΙΑ ΣΥΝΑΡΠΑΣΤΙΚΩΝ ΑΝΑΚΑΛΥΨΕΩΝ
ΣΤΗΝ ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΟΣΜΟΛΟΓΙΑ



Κανάρης Τσίγκανος, Ομότιμος Καθηγητής
Τομέας Αστρονομίας, Αστροφυσικής και Μηχανικής
Τμήμα Φυσικής, Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Πανεπιστημιόπολη Ζωγράφου, Αθήνα, Ελλάδα
Διευθυντής Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (2011-2016)
Tel./Fax: +30.210.7276915, 6948888884
email: tsingan@phys.uoa.gr
Personal webpage: <http://users.uoa.gr/~tsingan/CV.pdf>

ΤΟ ΕΚΠΑΛΗΚΤΙΚΟ ΣΥΜΠΑΝ

100 χρόνια συναρπαστικών ανακαλύψεων
στην Αστροφυσική και την Κοσμολογία

ISBN 978-960-456-549-8

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

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

Φωτοστοιχειοθεσία
Εκτύπωση
Βιβλιοδεσία

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



www.ziti.gr

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

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

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ: www.ziti.gr

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Μητροπολίτου Μεσογαίας & Λαυρεωτικής, κ. Νικολάου

Έχει μια μαγεία ο ουρανός, που τίποτα άλλο δεν την έχει. Και με αυτό που δείχνει και με αυτό που κρύβει. Και για τον απλό παρατηρητή του και για τον εξειδικευμένο ερευνητή. Οι λέξεις *Σύμπαν*, *big bang*, *κοσμολογία*, *γαλαξίες*, *μαύρες τρύπες*, *τηλεσκοπία*, αλλά και η ίδια η λέξη *αστροφυσική* στον κοινό νου περιβάλλονται από μια αίγλη που διεγείρει τη φαντασία, που ξεσηκώνει τη σκέψη και προκαλεί μηχανισμούς υπαρξιακών αναζητήσεων και κινήσεις θαυμασμού και έμπνευσης.

Η μελαγχολικότητα μιας ασέληνης νύχτας με τα ποικίλλουσας λαμπρότητας και πάλλουσας φωτεινότητας ανισόμορφα κατανεμημένα αστέρια να προβάλλονται στο σκοτεινό φόντο του ουρανού, οι πολύ αργές αλλά σταθερές μεταβολές της εικόνας του ουράνιου στερεώματος, οι διάττοντες αστέρες, η γαλαξιακή ζώνη, ή το θλιμμένο φως του φεγγαριού, δεν σε αφήνουν ήσυχο. Το σκοτεινό, το άπιαστο, το άγνωστο, το απόμακρο, το μεγάλο της απλής θέας ενός απλοϊκού ανθρώπου, όλα μαζί, όταν συνδυάζονται με το απροσπέλαστο, το ασύλληπτο, το ιλιγγιώδες των μεγεθών, των αποστάσεων, των χρόνων, των αριθμών της εξειδικευμένης γνώσης ενός επιστήμονα παραπέμπουν στη λέξη *μυστήριο*, που προκαλεί περισσότερο όταν αναφέρεται στον αισθητό και αντιληπτό, στον φυσικό κόσμο από όσο στον υπερβατικό, αφήνοντας όμως και μια πόρτα ανοικτή γι' αυτόν.

Όταν δεν αντέχεις την πρόκληση, όταν δεν χωράς τα μεγέθη, το πλήθος, το ερέθισμα, όταν σε λυγίζει η αδυναμία των απαντήσεων, όταν σε ζαλίζουν τα ερωτήματα του *σκοπού*, των *λόγων*, και των *αιτίων*, του *γιατί*, και δεν αρκείσαι στη γνώση μόνο του *πώς* και του *τί*, τότε ή ομολογείς συντετριμμένος την αδυναμία και την άγνοιά σου, τη μικρότητά σου, ή απωθείς εφησυχαστικά τον προβληματισμό και το ερώτημα ή ξανοίγεσαι σε άλλους κόσμους λίγο πιο πέρα από τη φυσική, τη λογική και τις αισθήσεις σου, αρκετά πιο μεγάλους από το Σύμπαν, πολύ πιο πειστικούς από τις επιστημονικές θεωρίες σου. Αν και μικρός γι' αυτά που σκέπτεσαι και ξέρεις, είσαι πολύ σημαντικός. Το καταλαβαίνεις. Νοιώθεις την αξία σου. Το μεγαλείο του να είσαι *άνθρωπος*!

Χωρίς αμφιβολία η εποχή μας έχει κάτι το συναρπαστικό επάνω της. Η επιστήμη έχει εκθετικά αυξήσει τη γνώση και στη συνέχεια οι επαναστατικές τεχνο-

λογικές εφαρμογές έχουν τόσο διεισδύσει στη ζωή που φτιάχνεται ένας κόσμος τόσο ασύλληπτος όσο και το Σύμπαν και ένας άνθρωπος ίσως αρκετά διαφορετικός από τον *homo sapiens*. Ανακαλύψεις όπως η διπλή έλικα του DNA ή ο ανασυνδυασμός του, η χαρτογράφηση του ανθρώπινου γονιδιώματος και η δυνατότητα της επεξεργασίας, του editing του, η τεχνολόγηση του βιολογικού μικροκόσμου και των μηχανισμών αναπαραγωγής, οι παρεμβάσεις στη ναοκλίμακα, οι τεχνολογίες ενίσχυσης του ανθρώπου στο γνωσιακό επίπεδο, η ρομποτική αποκατάστασή του, η τεχνητή νοημοσύνη, η μεταπήδηση από τη διαχείριση της πληροφορίας στην επινόηση της μηχανικής ευφυΐας, όλα αυτά νομοτελειακά μας οδηγούν στην ταλάντωση ανάμεσα στον θαυμασμό για το ανθρώπινο πνεύμα και στον φόβο για της συνέπειες των ανθρώπινων τεχνολογιών.

Από την άλλη πλευρά, τα επιτεύγματα της Αστροφυσικής είναι εξίσου ή και περισσότερο συγκλονιστικά, αλλά δεν προκαλούν φόβο. Αυτά προξενούν δέος. Και τούτο διότι το Σύμπαν δεν τεχνολογείται. Ο άνθρωπος είναι μεγάλος για να το μελετά, να το ανακαλύπτει και να το σπουδάξει, αλλά πολύ μικρός για να το αλλάξει, να προσπαθήσει να το διορθώσει, να το χαλάσει. *Ευτυχώς!*

Η ακτινοβολία υποβάθρου, η ύπαρξη του σκοτεινού σύμπαντος, ύλης και ενέργειας που δεν φαίνονται, δεν εκπέμπουν, η ψηλάφηση των εσχатиών του, η ανακάλυψη των μελανών οπών, οι εντυπωσιακές ερμηνείες φύσεως, προέλευσης και εξέλιξης του κόσμου, η ανίχνευση των βαρυτικών κυμάτων, η γνώση της φυσικής και των νόμων του, της ιστορίας και εξέλιξής του, όλα αυτά επιτεύγματα της τελευταίας εκατονταετίας, κυριολεκτικά συναρπάζουν και μαζί με την καλπάζουσα φαντασία εκτινάσσουν την ανθρώπινη σκέψη σε περιοχές υπερβολικά δύσβατες.

Διαβάζοντας το υπέροχο αυτό βιβλίο του καθ. κ. Κανάρη Τσίγκανου, αισθάνεσαι σαν να έχεις βάλει το μάτι σου στο τηλεσκόπιο και να βυθίζεσαι στην απόλαυση της θέας του μαγευτικού μας κόσμου. Βλέπεις τα επιτεύγματα του παρελθόντος και ενοράς και φαντάζεσαι αυτά του μέλλοντος. Συχνά νοιώθεις σαν να ψηλαφείς τα απόμακρα, τα δυσνόητα, αυτά που δεν πιάνονται, τον χρόνο, το μέλλον. Ατέλειωτες σελίδες με ασύλληπτες περιγραφές, με μοναδικές εμπνεύσεις, με θαυμαστά επιτεύγματα, όπως οι απεικονιστικές πιστοποιήσεις της σύγκρουσης δύο αστέρων νετρονίων, με ανίχνευση ταυτόχρονης εκπομπής βαρυτικών κυμάτων σε όλο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, η πρώτη «φωτογράφιση» γιγάντιας μελανής οπής στο κέντρο ενός μακρινού γαλαξία (M87), η καταγραφή πλέον των 4000 εξωπλανητών, κάποιων σε πλανητικά συστήματα που προσομοιάζουν με το δικό μας (π.χ. με 7 πλανήτες), η διαπίστωση ύπαρξης νερού σε όλο το ηλιακό σύστημα, η ανίχνευση νετρίνων από τον πυρήνα του Ήλιου, που καθώς ταξιδεύουν από τον Ήλιο στη Γη αλλάζει η “ταυτότητά” τους, η ανακάλυψη της ανισοτροπίας της ακτινοβολίας υποβάθρου, δηλαδή των σπερμάτων των πρώτων γαλαξιών, και τόσα άλλα, έτσι όπως παρουσιάζονται σε αυτήν την, αν μπορώ να το πω,

Εγκυκλοπαίδεια της σύγχρονης Αστροφυσικής, μαζί με τον θαυμασμό της τεχνολογίας και των ιδιοφυών συσκευών μας (COBE/WMAP/Planck, LIGO + VIRGO, Event Horizon Telescope), μαζί με την απόλαυση της ομορφιάς του κόσμου και του μεγαλείου της Φυσικής, αφήνουν και μια πικρή αίσθηση της επιστημονικής ανεπάρκειας και αδυναμίας να δοθούν απαντήσεις για τα μεγάλα ερωτήματα και τους λόγους της ύπαρξής μας. Τα βλέπουμε όλα, αλλά τα βαθύτερα μυστικά παραμένουν κρυμμένα.

Ένας κόσμος τεράστιος, ασύλληπτος, πανέμορφος, με αρμονικές ασυμμετρίες, με εκπληκτικές δυσαρμονίες, απλησίαστος με φυσικό τρόπο, προσιτός με την επιστήμη! Όγκοι, χρόνοι, θερμοκρασίες, ταχύτητες, μεγέθη ασύλληπτα. Και κάπου σε μια ασήμαντη γωνιά, εμείς οι άνθρωποι, ένα άλλο Σύμπαν, ένας άλλος κόσμος, ίσως πιο μεγάλος, πιο συναρπαστικός.

Μαζί με το Σύμπαν θαυμάζει τον άνθρωπο, χωμένο κάπου στο πουθενά, που όμως σκέπτεται, που το παρατηρεί, που το σπουδάζει. Ως υλική ύπαρξη είναι τόσο μικρός συγκρινόμενος με το μεγαλειώδες Σύμπαν. Κάτι μικρότερο από ένα γονίδιο, κάτι πιο ελάχιστο από ένα σωματίο, πιο λίγο από τη σκόνη. Ένα βιολογικό τίποτα, ένα υλικό μηδέν! Ένα όμως σκεπτόμενο Σύμπαν ο ίδιος, που μελετώντας την ομορφιά μπορεί να ανακαλύψει την πραγματικότητα και στη συνέχεια να ψηλαφήσει την αλήθεια, να υποψιασθεί την Αλήθεια. Ένα διαστελλόμενο Σύμπαν ο ίδιος! Είναι εντυπωσιακό όμως ότι όσο αυξάνεται η γνώση, τόσο επεκτείνεται και ο χώρος του αγνώστου. Και, αν δεν κάνεις το λάθος να ξεγελαστείς από το ψεύτικο μεγαλείο σου, όσο περισσότερα μαθαίνεις, τόσο περισσότερο ζεις το πέραν από την ικανότητα, το παραπάνω από τη γνώση και την κατανόηση. Παντού, αχνά διακρίνεις, σαν μια ακτινοβολία υποβάθρου, τον λόγο και το αίτιό του, το μυστήριο της αλήθειας του. Το άλλο εκπληκτικό Σύμπαν!

Το Σύμπαν είναι πολύ σκοτεινό, έχει ελάχιστα φωτόνια· είναι και πολύ ψυχρό, μόλις 2,7K· είναι κενό, άδειο, αν και απέραντο. Η τεράστια ποσότητα ύλης του είναι πολύ μικρότερη από το άπειρο κενό του. Θα μπορούσε μελετώντας το να νοιώθεις συντριπτικά μικρός, ασήμαντος, μέσα στο σκοτάδι και την ψύχρα του, μέσα στο τεράστιο κενό του, χαμένος, μέσα στους κοσμικούς χρόνους του η διάρκεια της ζωής σου πολύ μικρότερη και από τη μικρότερη στιγμή. Κυριολεκτικά ένα τραγικό, ένα τραυματικό τίποτα.

Το ανά χείρας ωστόσο βιβλίο «Το εκπληκτικό Σύμπαν» του ερευνητή και πανεπιστημιακού δασκάλου για σχεδόν μισό αιώνα Κανάρη Τσίγκανου, ανιστορώντας με απλό και κατανοητό τρόπο τις μεγάλες και συναρπαστικές αστρονομικές ανακαλύψεις του ανθρώπου κατά την τελευταία εκατονταετία, αναστρέφει τα πάντα και καταστρέφει αυτή τη λογική. Κάνει το σκοτεινό Σύμπαν φωτεινό, το ψυχρό θερμό, το άδειο γεμάτο. Και αποδεικνύει τον άνθρωπο πιο μεγάλο και συνεχώς διαστελλόμενο. Του προσθέτει κι άλλες διαστάσεις. Του δίνει αξία, ομορφιά,

μεγαλείο. Τον κάνει... κόσμο. Γιατί το Σύμπαν όπως παρουσιάζεται έχει σοφία, αρμονία, ομορφιά, έχει φως, ζεστασιά, παρουσία. Μαζί με τον μικρό σε υλικότητα αλλά τεράστιο σε αξία άνθρωπο, κρύβει και τον αθέατο στις αισθήσεις μας αλλά ορατό στην παρουσία Του Θεού. *«Οί ούρανοί, ὄντως, διηγοῦνται δόξαν Θεοῦ»!* Για όλους βέβαια το βλέπουν.

Αντί Προλόγου και Ευχαριστίες

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

Πρωτοπόροι αρχαίοι Έλληνες αστρονόμοι υπήρξαν ο Αρίσταρχος ο Σάμιος (310 π.Χ. - 230 π.Χ.), που πρότεινε το ηλιοκεντρικό σύστημα, ο Ερατοσθένης ο Κυρηναίος (276 π.Χ. - 194 π.Χ.) που μέτρησε με αξιοθαύμαστη ακρίβεια την περιμέτρο της Γης και εφηύρε τον σφαιρικό αστρολάβο και ο Ίππαρχος ο Ρόδιος (190 π.Χ. - 120 π.Χ.), ο πρίγκιπας των παρατηρησιακών αστρονόμων της αρχαιότητας, που υπολόγισε με αξιοθαύμαστη ακρίβεια τη διάρκεια του ηλιακού τροπικού έτους σε 365,242 ημέρες, την μετάπτωση των ισημεριών και την απόσταση του Ήλιου και της Σελήνης. Ο Ίππαρχος εισήγαγε τα αστρικά φωτομετρικά μεγέθη και κατασκεύασε τον πρώτο κατάλογο 1022 αστέρων με την ακριβή θέση τους (ορθή αναφορά και απόκλιση) καθώς και τη λαμπρότητα του καθενός, έναν κατάλογο τον οποίο συμπεριέλαβε αργότερα ο Πτολεμαίος στη *Μεγάλη Σύνταξή* του.



Ο Ίππαρχος ο Νικαεύς (190 π.Χ. - 120 π.Χ.), ήταν Έλληνας αστρονόμος, γεωγράφος και μαθηματικός, ιδρυτής της τριγωνομετρίας και πατέρας της παρατηρησιακής Αστρονομίας. Τελειοποίησε παλαιότερα αστρονομικά όργανα, όπως τη Διόπτρα – με την οποία εκτίμησε τη φαινόμενη διάμετρο Ήλιου και Σελήνης, την απόσταση και το πραγματικό μέγεθός τους – τον Γνώμονα, το Ηλιοτρόπιο, το Ηλιωρολόγιο, το Καθετίον, την Κλεψύδρα, τους Κρίκους, τη Στερεά σφαίρα και το Υδρολόγιο. Διηύθυνε το Μουσείο της Αλεξάνδρειας επί 20 χρόνια, όπου μελέτησε όλες τις πληροφορίες που ήσαν συγκεντρωμένες στην Μεγάλη Αλεξανδρινή Βιβλιοθήκη από προηγούμενους ερευνητές. Ο Ίππαρχος επεξεργάστηκε μεγάλο όγκο παρατηρήσεων και επινόησε μεθόδους επίλυσης προβλημάτων της σφαιρικής αστρονομίας, αναπτύσσοντας την ιδέα του μαθηματικού προσδιορισμού των αστρικών θέσεων. Θεωρείται ως ο πιθανός κατασκευαστής του *Μηχανισμού των Αντικυθήρων*.

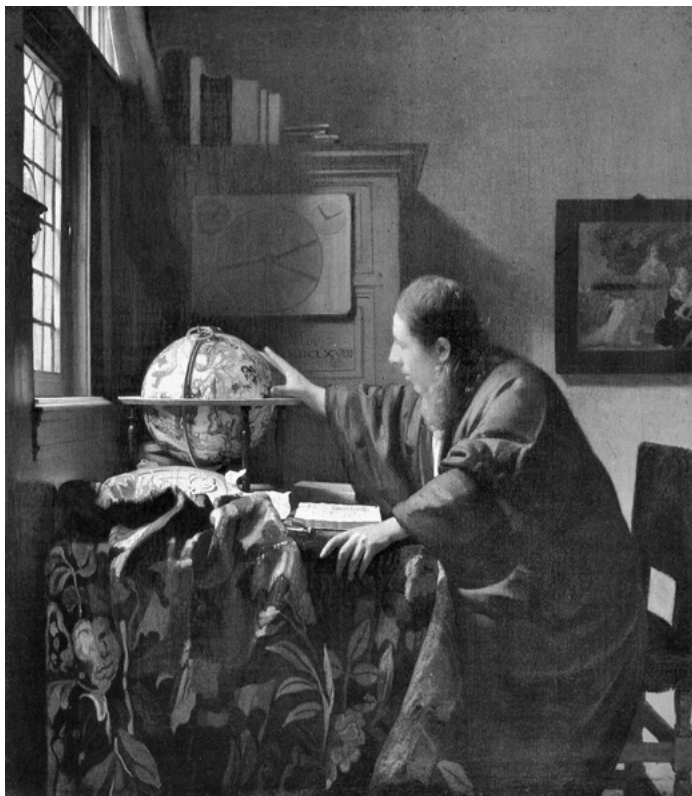
Το **πρώτο** μας βιβλίο «Ένα γαλάζιο πετράδι στο Διάστημα» τοποθετεί τη Γη στο τοπικό αστρονομικό επίκεντρο, με τον Ήλιο, το μητρικό της άστρο, από τη μια πλευρά της και τα αδέρφια της πλανήτες και τα ξαδέλφια της εξωπλανήτες, από την άλλη. Διηγείται πως 100 χρόνια μεγάλων ανακαλύψεων οδήγησαν στην κατανόηση του ζωοδότη άστρου της Ήλιου, από τη μια κοντινή της πλευρά και την *in situ* εντυπωσιακή εξερεύνηση του πλανητικού συστήματος από την άλλη. Παράλληλα, αναφέρει και τις μεγάλες πρόσφατες ανακαλύψεις των συγγενών της Γης εξωπλανητών, που αντανakλούν και επηρεάζουν άλλωστε την κραυγαλέα μοναχικότητά της στο Διάστημα.

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

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

Απευθύνονται προς όσους θέλουν να μάθουν τα μυστικά της γιγάντιας ηλιακής σφαίρας που στο βαθύ εσωτερικό της δουλεύει ασταμάτητα ένα θερμοπυρηνικό εργοστάσιο για να μας τροφοδοτεί με οικολογική ενέργεια, πηγή άλλωστε κάθε μορφής ζωής στη Γη, παράγοντας συγχρόνως τα ακριβοθώρητα νετρίνα που μας βομβαρδίζουν κατά δισεκατομμύρια ανά δευτερόλεπτο του Ήλιου που περιοδικά βρυχάται με τεράστιες εκρήξεις στην ατμόσφαιρά του, περιβάλλοντας έτσι εκτός από αγάπη και με μίσος τη Γη και τους άλλους πλανήτες του του Ήλιου του





Ο αστρονόμος (The astronomer), Johannes Vermeer (1668), Musée du Louvre, Paris. Το βιβλίο στο τραπέζι είναι η έκδοση του 1621 του βιβλίου του ολλανδού αστρονόμου και μαθηματικού Adriaan Metius, *Institutiones Astronomicae Geographicae*. Συμβολικά, ο τόμος είναι ανοιχτός στο Βιβλίο III, μια ενότητα που συμβουλεύει τον αστρονόμο να γνωρίζει μαθηματικά, να χρησιμοποιεί παρατηρησιακά όργανα και να αναζητεί «έμπνευση από το Θεό»· ο πίνακας στον τοίχο δεξιά δείχνει την ανεύρεση του μικρού Μωυσή στον Νείλο – ο Μωυσής αντιπροσωπεύει τη γνώση, όντας «καταρτισμένος με όλη τη σοφία των Αιγυπτίων».

Ηλιάτορα του Ελύτη που ανατέλλοντας κάθε δροσερό πρωινό, χρωματίζει με χρυσές πινελιές τη ροδοδάκτυλη αυγή και ομορφαίνει τη γλυκιά δύση μιας ζεστής καλοκαιρινής ημέρας.

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

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

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

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

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



Ο Ανδρόνικος ο Κυρρήστης γιος του Ερμεία καταγόταν από την Κύρρο της Μακεδονίας και ήκμασε περί το τέλος του 2^{ου} αιώνα π.Χ. Φέρεται να κατασκεύασε από λευκό μάρμαρο ηλιακό ωρολόγιο, το οποίο βρέθηκε στη Τήνο και φυλάσσεται σήμερα στο μουσείο της πόλης. Από την κατασκευή εκείνη απέκτησε μεγάλη φήμη, με αποτέλεσμα να κληθεί στην Αθήνα όπου κατασκεύασε τον γνωστό μετεωρολογικό και ωρομετρικό σταθμό, σήμερα μνημείο, το «Ωρολόγιο του Κυρρήστου», γνωστό και ως Πύργος των Ανέμων κατά τον Ρωμαίο συγγραφέα και μηχανικό Βιτρούβιο, ή Αέρηδες κατά τους νεότερους Αθηναίους.

Σ' αυτόν λοιπόν τον **σκεπτόμενο αναγνώστη** απευθύνονται τούτα τα δύο μας βιβλία. Ως γνωστόν, έχουν εκδοθεί αρκετά βιβλία με «παραμυθένιες διηγήσεις» που πλέκονται γύρω από θέματα της αστρονομίας. Επίσης, βιβλία από συγγραφείς που δεν υπήρξαν ωστόσο ποτέ ερευνητές της αστροφυσικής. Χρήσιμα και αυτά. Το περιεχόμενο όμως και ο στόχος στα δίδυμα αυτά βιβλία μας είναι εντελώς διαφορετικά. Εδώ η στόχευσή μας είναι ο σκεπτόμενος συμπολίτης μας να κατανοήσει τη *μοναδικά προνομιακή* θέση μας μέσα σε τούτο το εκπληκτικό, πολυποίκιλλο και δυναμικό Σύμπαν, όπου διερχόμεθα τη σύντομη βιοτή μας και αυτό σύμφωνα με τις τελευταίες συναρπαστικές καρέ-καρέ ανακαλύψεις της σύγχρονης διαστημικής και αστροφυσικής του τελευταίου αιώνα.

Να φιλοσοφήσει ενδεχομένως βλέποντας μια φωτογραφία της Γης μας από την απόσταση πολλών δισεκατομμυρίων χιλιομέτρων, σαν μια *μικρή αχνή γαλάζια κουκκίδα* να αρμενίζει αιωρούμενη, παντέρμη μέσα στο σκοτεινό αχανές διά-

στημα και να αναρωτηθεί εντέλει και για τον δικό του ρόλο ως επιβάτη αυτού του εύθραυστου και ίσως μοναδικού κοσμικού διαστημοπλοίου· να αναρωτηθεί εν τέλει αν και ο δικός του τρόπος ζωής βοηθά ώστε αυτό να διατηρηθεί και παραδοθεί αλώβητο στις επόμενες γενιές.

Να *φιλοσοφήσει* ακόμη βλέποντας τη φωτογραφία μιας γιγαντιαίας μελανής οπής να λουφάζει στην καρδιά ενός μακρινού γαλαξία σε απόσταση δεκάδες εκατομμύρια έτη φωτός, καταπίνοντας λαίμαργα ολόκληρες ηλιακές μάζες κάθε έτος και εκτοξεύοντας τα περισσεύματα του δείπνου της με ταχύτητες κοντά στην ταχύτητα του φωτός, επιβεβαιώνοντας έτσι τη θεωρία της σχετικότητας του Αϊνστάιν· ή, να κατανοήσει πως ο χρυσός στα κοσμήματά του δημιουργήθηκε ως παραπροϊόν μιας τελικής κατακλυσμιαίας συγχώνευσης δύο αστεριών νετρονίων τα οποία συνενυρίσκονταν σε έναν θανάσιμο εναγκαλισμό, σε κάποια απομακρυσμένη γωνιά του Σύμπαντος.

Και μια πρακτική συμβουλή προς τον αναγνώστη που αφορά το πώς είναι δομημένη η διήγηση του βιβλίου. Καταρχήν, δεν περιέχονται μαθηματικά, ή οποιαδήποτε τεχνική ιδιαιτερότητα θα μπορούσε να δυσχεράνει τον αναγνώστη. Παράλληλα, υπάρχουν πολλές σύντομες αφηγήσεις οι οποίες περιγράφουν με γλαφυρό τρόπο τα πλέον εντυπωσιακά χαρακτηριστικά των ανακαλύψεων, σε ξεχωριστό πλαίσιο και γκρι φόντο. Πρόκειται για εύληπτες περιγραφές που εύκολα θα θυμάται ο αναγνώστης για να διηγηθεί σε μια φιλική παρέα. Μάλιστα, ο αναγνώστης δεν απαιτείται καν να έχει γνώσεις θετικών επιστημών· για την κατανόησή τους αρκεί μόνο ένα υπόβαθρο ανθρωπιστικών επιστημών, ή ακόμα Λυκείου.

Τέλος, η υπόλοιπη αφήγηση εστιάζει σε μια εκλαϊκευτική περιγραφή της γνώσης που έχουμε σήμερα αποκτήσει για το Σύμπαν, στο διάβα των τελευταίων εκατό ετών.

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

Η ενασχόληση μου με την έρευνα, τη διδασκαλία και την εκλαϊκευση της αστροφυσικής και της διαστημικής διανύει ήδη περί τον μισό αιώνα· μια ενασχόληση με διδασκαλία από το πανεπιστημιακό αμφιθέατρο στην Ελλάδα και το εξωτερικό· τη συγγραφή διδακτικών εγχειριδίων όπως η *θεωρητική μηχανική και η αστροφυσική πλάσματος*, που χρησιμοποιούνται από φοιτητές Ελληνικών πανεπιστημίων· τη μετάφραση στην Ελληνική γλώσσα τόμων μαθηματικής ανάλυσης που χρησιμοποιούνται ήδη από δεκάδες Πανεπιστημιακά τμήματα όπως ο απειροστικός λογισμός του Thomas που κυκλοφορεί σήμερα σε περί τα 7.000 αντίτυπα ετησίως, 30 χρόνια μετά την αρχική μετάφραση· ακόμη και τη διοίκηση για μια εξαετία, ερευνητική αναδιοργάνωση, έκδοση επετειακού τόμου, δημιουργία κέ-



Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών. Θεμελιώθηκε στις 28 Ιουνίου του 1842. Εμπνευστής του ήταν ο Μακεδόνας αστρονόμος και καθηγητής αστρονομίας στο Πανεπιστήμιο Αθηνών, Γεώργιος Βούρης, ο οποίος έπεισε τον Βορειοηπειρώτη τραπεζίτη βαρώνο Γεώργιο Σίνα να χρηματοδοτήσει την ανέγερσή του. Την ημέρα, μάλιστα, των εγκαινίων συνέπεσε και έκλειψη ηλίου που περιέγραψε ο Δανός ιστορικός και γεωγράφος Α. Λ. Κορρεν. Το κτίριο είναι προσανατολισμένο στα τέσσερα σημεία του ορίζοντα και χτίστηκε με βάση τα σχέδια του Δανού αρχιτέκτονα Θεόφιλου Χάνσεν στο Λόφο των Νυμφών, έναν από τους επτά λόφους που δεσπόζουν στην πόλη των Αθηνών.

ντρων επισκεπτών και γενικά αναμόρφωση του αρχαιότατου Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών· πρωταρχικά όμως με την έρευνα και παρουσίαση των αποτελεσμάτων της σε διεθνείς συναντήσεις. Είχα επίσης την ευκαιρία της διοργάνωσης αρκετών διεθνών συνεδρίων στην όμορφη χώρα μας, τα οποία παρακολούθησαν πολλοί νέοι ερευνητές, οι οποίοι κατέχουν τώρα πανεπιστημιακές θέσεις στον διεθνή χώρο και ομολογούν ότι τους έχουν μείνει αξέχαστα. Αυτές τις δραστηριότητες συνεχίζω σήμερα, με τη νέα μου ιδιότητα πλέον του ομότιμου καθηγητή του Πανεπιστημίου Αθηνών. Αλλά το παρόν πόνημα εκπληρώνει και μια ακόμη επιθυμία μου, που τη θεωρώ και υποχρέωση συνάμα: να καταστήσω κοινωνούς των γενικότερων επιτευγμάτων της επιστήμης μου το ευρύτερο κοινό, που ίσως δεν διαθέτει τις τεχνικές γνώσεις, μιας και οι εκατοντάδες δημοσιεύσεις μας είναι γραμμένες αναγκαστικά στη γλώσσα των μαθηματικών και της εξειδικευμένης επιστη-

μονικής ορολογίας και γι' αυτό δεν είναι προσβάσιμες στο ευρύ κοινό.

Ευχαριστώ τον **ακαδημαϊκό Σταμάτη Κριμιζή**, τον αδιαμφισβήτητο πρύτανη του Διαστήματος, για την καλοσύνη του να διαβάσει το 1^ο βιβλίο και να γράψει ένα σύντομο πρόλογο. Πρόκειται για ένα ακούραστο και κορυφαίο ερευνητή της εξερεύνησης του Διαστήματος, που επίσης μου παρείχε υλικό από την εξερεύνηση του πλανητικού μας συστήματος. Παράλληλα, ο καθ. Σταμάτης Κριμιζής είναι ένας *ευπατρίδης* που δεν χάνει ευκαιρία να μεταφέρει τη μοναδική επιστημονική του εμπειρία πάντα με γλαφυρό τρόπο σε κάθε πρόσκληση που του απευθύνεται από εκπαιδευτικά ιδρύματα, σχολεία, πολιτιστικά δρώμενα εκλαίκευσης της επιστήμης, κ.α. Σίγουρα αποτελεί φωτεινό παράδειγμα για όλους εμάς: είχα την αγαθή τύχη να τον γνωρίσω και να εμπνευσθώ από τη μεγάλου βεληνεκού επιστημονική προσωπικότητά του.

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

Επίσης ευχαριστώ τους διακεκριμένους ερευνητές Θανάση Οικονόμου του πανεπιστημίου του Chicago και Άγγελο Βουρλίδα του πανεπιστημίου Johns Hopkins, οι οποίοι μου παρείχαν εικόνες από την εξερεύνηση του πλανητικού μας συστήματος και του Ήλιου μας, αντίστοιχα.

Το έτος 2019 ήταν για εμένα μια έντονη περίοδος συλλογής των συναρπαστικότερων – κατά τη γνώμη μου – ανακαλύψεων της αστροφυσικής και διαστημικής από της ιδρύσεως της Διεθνούς Αστρονομικής Ενώσεως (IAU) μέχρι σήμερα. Ήταν σημαντική η κατανόηση που ενέδειξαν η σύζυγός μου Γεωργία και τα 3 παιδιά μας, Χρήστος, Αντώνης και Ευγένιος κατά την πολύωρη ενασχόλησή μου με αυτό το δίτομο πόνημα, γι' αυτό τους είμαι ευγνώμων.

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

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

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

Κανάρης Τσίγκανος
Αθήνα, 21 Ιουνίου 2020



Πρόλογος Μητροπολίτου Μεσογαίας & Λαυρεωτικής, κ. Νικολάου	vii
Αντί Πρόλογου και Ευχαριστίες	xi
Προλεγόμενα	1
Το εκπληκτικό Σύμπαν και οι συναρπαστικές ανακαλύψεις του	3

Κεφάλαιο 1 Αστροφυσική

Εισαγωγή	17
1920: Sir Arthur Eddington και η εσωτερική αστρική δομή	18
↳ Η <i>αμφίδρομη</i> πορεία της κατανόησης των άστρων και των ατόμων	19
1910: Ανακάλυψη των <i>Λευκών Νάνων</i>	19
↳ Βάρος ανθρώπου στον <i>Λευκό Νάνο</i> του <i>Σείριου</i>	22
↳ Η <i>εξωτική</i> πυκνότητα της ύλης ενός Λευκού Νάνου... ..	26
1910: Το διάγραμμα Hertzsprung-Russell (HR diagram)	31
1960: Γαλαξιακή δυναμική	33
1931, 1939: Οι απαρχές της Ραδιοαστρονομίας και ο Κύκνος Α	34
↳ Όλα τα ραδιοτηλεσκόπια έχουν συλλέξει περίπου την ενέργεια που έχει μια νιφάδα χιονιού όταν πέφτει στο έδαφος... ..	37
1963: Ανακάλυψη των μυστηριωδών και εξωτικών Κβάρζαρς, στις παρυφές του γνωστού μας Σύμπαντος	37
1962: Γένεση της Αστρονομίας ακτίνων-X	41
1970: Ανακάλυψη των πρώτων 300 κοσμικών πηγών ακτίνων-X από τον δορυφόρο <i>UHURU</i>	43
1979: Παρατηρησιακή ανακάλυψη των βαρυτικών φακών	44
↳ Το σφάλειν είναι ανθρώπινον: και οι Έντινγκτον και Αϊνστάιν έκαναν λάθος προβλέψεις	46
1943: Ανακάλυψη των ενεργών και ιδιόμορφων γαλαξιακών πυρήνων	47
1918: Ανακάλυψη πιδάκων πλάσματος από ενεργούς γαλαξιακούς πυρήνες και Κβάρζαρς	49

✧ Ένας «Ηράκλειος» ραδιογαλαξίας, από την κεντρική <i>μελανή οπή</i> του οποίου αναβλύζουν πίδακες μήκους εκατομμυρίων ετών φωτός	50
1970: Ανακάλυψη της υπέρφωτης κίνησης	51
1994: Αυτοομοιότητα στους αστροφυσικούς πίδακες	54
1990: Υπερμεγέθεις μελανές οπές στα κέντρα πολλών γαλαξιών	58
1995: Ανακάλυψη μελανής οπής στο κέντρο του Γαλαξία	60
1934: Υπερκαινοφανείς, Αστέρες Νετρονίων, Κοσμικές Ακτίνες	62
✧ Supernova ASSASN-15lh: αριθμοί που ζαλίζουν...	64
1967: Ανακάλυψη του 1 ^{ου} Pulsar, ενός φάρου του διαστήματος	66
1968: Μοντέλα πάλσαρ ως περιστρεφόμενων αστέρων νετρονίων	69
✧ Οι πάλσαρ είναι γιγάντιοι περιστρεφόμενοι ατομικοί πυρήνες	69
1974: Ανακάλυψη του διπλού Pulsar PSR B1913+16	74
1983: Μεταβολή της περιόδου της τροχιάς του διπλού πάλσαρ λόγω εκπομπής βαρυτικών κυμάτων, σύμφωνα με τη ΓΘΣ	75
1982: Ανακάλυψη της επιβράδυνσης της περιστροφής των αστέρων νετρονίων και η ανακάλυψη των <i>milisecond pulsars</i>	78
✧ Ο ταχύτερα περιστρεφόμενος πάλσαρ με πλέον των 700 περιστροφών κάθε δευτερόλεπτο	80
1967-2000: Ανακάλυψη των εκλάμψεων ακτίνων-γ (GRBs)	81
✧ Οι ισχυρότερες εκρήξεις στο Σύμπαν, μετά τη Μεγάλη Έκρηξη	83
✧ Μεγάλοι κατακλυσμικοί αφανισμοί ζωντανών ειδών στη Γη – ίσως και στο Σύμπαν – και η πιθανή σχέση τους με τις εκλάμψεις ακτίνων-γ	90
2015: Πρώτη άμεση ανίχνευση βαρυτικών κυμάτων	93
✧ Το απειροελάχιστο πλάτος των βαρυτικών κυμάτων	94
✧ Ψίθυροι του Σύμπαντος...	95
✧ Η κολοσσιαία ενέργεια που παράγεται κατά τη συγχώνευση δύο μεγάλων μελανών οπών είναι μεγαλύτερη αυτής που ακτινοβολούν όλοι μαζί οι αστέρες του παρατηρήσιμου Σύμπαντος...	97
2017: Ανακάλυψη και πρώτη ταυτοποίηση βαρυτικού κύματος με τα συμβολόμετρα LIGO και VIRGO και 70 επίγεια και δορυφορικά τηλεσκόπια που παρατήρησαν παγκόσμια σε όλο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, την πηγή GW170817	97
✧ Μια πρωτοφανής παγκόσμια επιστημονική κινητοποίηση	99
2017: Ανακάλυψη των εκρήξεων <i>kilonova</i> , της κοσμικής αλχημείας και της δημιουργίας των ευγενών μετάλλων	107
✧ Ποια είναι η προέλευση των περισσότερων χημικών στοιχείων τριγύρω μας;	108
✧ Παραγωγή χρυσού στη σύγκρουση των 2 αστέρων νετρονίων αξίας 1.000.000.000.000.000.000.000.000.000 \$...	111

2019: Ανακοίνωση της πρώτης φωτογράφισης υπερμεγέθους γαλαξιακής μελανής οπής	112
↳ Ένας γαλαξίας που «χωράει» μέσα σε ένα μικρό πλανητικό σύστημα	112
Κεφάλαιο 1: Αστροφυσική • Έγχρωμες εικόνες	119

Κεφάλαιο 2 Κοσμολογία

Εισαγωγή	137
1915: Η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας του Άλμπερτ Αϊνστάιν	138
↳ Η λογική πληρότητα της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας	140
↳ Οι εξωτικές μελανές οπές... ..	141
1917: Το ομογενές/ισότροπο, στατικό, σφαιρικό Σύμπαν του Αϊνστάιν	145
1919: Η ολική ηλιακή έκλειψη του 1919 επιβεβαιώνει την πρώτη των προβλέψεων της ΓΘΣ	147
↳ Η «μετριοπάθεια» του Eddington... ..	149
1922: Ανακάλυψη των πρώτων λύσεων των εξισώσεων Einstein - τα μοντέλα Friedmann του Σύμπαντος	152
1927: Ανακάλυψη της διαστολής του Σύμπαντος από τον Lemaître	154
↳ Το Σύμπαν έχει δημιουργηθεί από έναν Δημιουργό... ..	157
↳ Η μετονομασία του νόμου διαστολής του Σύμπαντος	158
1929: Η σχέση ταχύτητας-απόστασης του Hubble	158
↳ Ένας ημιονηγός συνεισφέρει σημαντικά σε μια από τις μεγαλύτερες ανακαλύψεις της Κοσμολογίας... ..	162
1933: Ο αστρονόμος Fritz Zwicky εφευρίσκει τη «σκοτεινή ύλη»!	164
2018: Ανακάλυψη αμυδρού φωτός από το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble εντός του σμήνους γαλαξιών Abell S1063 που δίδει την κατανομή της σκοτεινής ύλης	167
↳ Όλοι τελικά χρειάζονται... ..	167
1948: Τριγμοί στο οικοδόμημα της θεωρίας της Συνεχούς Δημιουργίας	168
1948: Η θεωρητική πρόβλεψη της πυρηνοσύνθεσης των ελαφρών πυρήνων και της διάχυτης κοσμικής ακτινοβολίας μικροκυμάτων	170
↳ Πώς ο Κόσμος άρχισε να υπάρχει σε 5 λεπτά... ..	174
↳ Από τη δημιουργία την ύλης τα πρώτα λεπτά, στην πολύ μεταγενέστερη δημιουργία του ανθρώπου στο Σύμπαν... ..	175
1954: Η πρόβλεψη του Hoyle για τη δημιουργία του άνθρακα	175
↳ Μια σημαντική πρόβλεψη της «Ανθρωπικής Αρχής»	178

1965: Η ανακάλυψη της διάχυτης κοσμικής ακτινοβολίας μικροκυμάτων	179
↳ Τα ενοχλητικά «παράσιτα» που έδωσαν τη σημαντικότερη παρατηρησιακή ανακάλυψη στην ιστορία της Κοσμολογίας...	182
1998: Η ανακάλυψη της επιταχυνόμενης διαστολής του Σύμπαντος	182
↳ Το σκοτεινό μέλλον του Σύμπαντος...	191
1987, 2019: Εντυπωσιακές συγκρούσεις γαλαξιών	192
↳ Πρέπει να ανησυχούμε για τη σύγκρουση Γαλαξία – Ανδρομέδας;	193
2012: Γαλαξιακή ιεραρχία: ομάδες, σμήνη και υπερσμήνη	194
↳ Οι συντροφίες των γαλαξιών...	194
1978: Ανακάλυψη των μεγάλων Κοσμικών Κενών και Τειχών στην κατανομή των γαλαξιών: οι «φυσαλίδες» του Κοσμικού Ιστού	197
↳ Ένα περίπλοκο δίκτυο διαστημικών αυτοκινητόδρομων...	197
2019: Ανίχνευση μαγνητικών πεδίων στα κοσμικά νήματα	202
1980: Ο κοσμολογικός πληθωρισμός	203
– «Εποχή Planck», $0 < t \leq 10^{-44}$ δευτερόλεπτα	204
– Εποχή της «Μεγάλης Ενότητας», $10^{-44} \leq t \leq 10^{-36}$ δευτερόλεπτα	204
– Εποχή του κοσμολογικού πληθωρισμού, $10^{-36} \leq t \leq 10^{-33}$ δευτερόλεπτα	204
↳ Μια τρομακτική διαστολή του νηπιακού Σύμπαντος...	213
♦ Ποιές ήταν οι διαστάσεις του Σύμπαντος πριν και μετά την εποχή του πληθωρισμού;	214
– Πληθωρισμός και Πολυσύμπαντα	215
– Το πρόβλημα της κοσμολογικής σταθεράς	216
– Το πρόβλημα της επιπεδότητας του Σύμπαντος	218
– Το πρόβλημα των άφαντων μαγνητικών μονοπόλων	219
1989 COBE: Αρχή της ακριβούς παρατηρησιακής Κοσμολογίας	220
2001, 2009: Λεπτομερής παρατήρηση της ανισοτροπίας και της πόλωσης της κοσμικής ακτινοβολίας μικροκυμάτων, με τις διαστημικές αποστολές WMAP και Planck	224
2001: Μέτρηση της γεωμετρίας του Σύμπαντος	226
2010: Συσχέτιση της ανισοτροπίας της κοσμικής ακτινοβολίας μικροκυμάτων και της κρίσιμης πυκνότητας του Σύμπαντος Ω	228
2011: Απογραφή της συνολικής ύλης που περιέχει το Σύμπαν	229
↳ Μια εφιαλτική τελική κοσμική εξέλιξη...	232
Οδεύοντας προς την εκτυφλωτική Μεγάλη Έκρηξη	234
– Η εποχή σχηματισμού των πρώτων αστέρων, γαλαξιών και Κβάζαρ του Σύμπαντος ($t \cong 200$ εκατομμύρια έτη \rightarrow 1 δις έτη)	234
↳ Ένας γαλαξίας στα όρια του παρατηρήσιμου Σύμπαντος...	235
↳ Πότε, πώς σχηματίστηκαν και πώς λάμπουν τα αινιγματικά Κβάζαρ;	236

– Η εποχή του επανα-ιονισμού	237
↳ Το μεγάλο ταξίδι του φωτός στο Σύμπαν... ..	239
– Η εποχή των σκοτεινών κοσμικών αιώνων	240
↳ Το κενό διάστημα ανάμεσα σε 2 φωτογραφίες του νεαρού Σύμπαντος... ..	242
– Εποχή της πυρηνοσύνθεσης ($t \cong 3$ λεπτά – 380.000 έτη)	243
1967: Οι πρώτες στιγμές ύπαρξης του Σύμπαντος	244
Η Μεγάλη Έκρηξη: η πρώτη στιγμή ($t=0$) της Δημιουργίας	245
↳ Αδιαμφισβήτητα παρατηρησιακά δεδομένα	245
– Η εποχή Planck, $t=0 \rightarrow t \cong 10^{-44}$ δευτερόλεπτα	245
↳ Οι 4 βασικές δυνάμεις της φύσης	248
↳ Τύχη ή Θεία Πρόνοια-1;	249
↳ Τύχη ή Θεία Πρόνοια-2;	250
– Η εποχή της μεγάλης ενοποίησης, $t=10^{-44} \rightarrow t \cong 10^{-36}$ δευτερόλεπτα	252
– Η εποχή του πληθωρισμού, $t=10^{-36} \rightarrow t \cong 10^{-32}$ δευτερόλεπτα	255
↳ Το «φούσκωμα» του Σύμπαντος στη φάση του πληθωρισμού	255
– Η εποχή της ηλεκτρασθενούς αλληλεπίδρασης, $t=10^{-32} \rightarrow t \cong 10^{-12}$ δευτερόλεπτα	256
– Η εποχή των κουάρκ, $t=10^{-12} \rightarrow t \cong 10^{-6}$ δευτερόλεπτα	257
– Η εποχή των αδρονίων και η ασυμμετρία ύλης/αντιύλης, $t \cong 10^{-6}$ seconds \rightarrow 1 sec	259
– Η εποχή των λεπτονίων, $t=1 \rightarrow t \cong 10$ δευτερόλεπτα	259
– Πυρηνοσύνθεση, μετάβαση από την εποχή της ακτινοβολίας στην εποχή της ύλης και εν συνεχεία στην εποχή της επανασύνδεσης, $t \cong 10$ δευτερόλεπτα $\rightarrow t \cong 380.000$ έτη	260
Κεφάλαιο 2: Κοσμολογία • Έγχρωμες εικόνες	263

Κεφάλαιο 3

Επιλεγόμενα

Εισαγωγή	281
▶ Γιατί είμαστε εδώ ως homo sapiens;	282
↳ Η παγκοσμιότητα των 4 δυνάμεων της φύσεως	283
↳ Η συμπληρωματικότητα των 4 δυνάμεων της φύσεως	284
↳ Η σταθερά της λεπτής υφής $\alpha=1/137$	287
▶ Γιατί η ισχυρή πυρηνική δύναμη είναι 137 φορές ισχυρότερη από την ηλεκτρομαγνητική δύναμη;	288
▶ Γιατί υπάρχει ακριβώς ίσος αριθμός θετικών και αρνητικών ηλεκτρικών φορτίων στο Σύμπαν, $Q_{\text{ολ}}=0$;	291

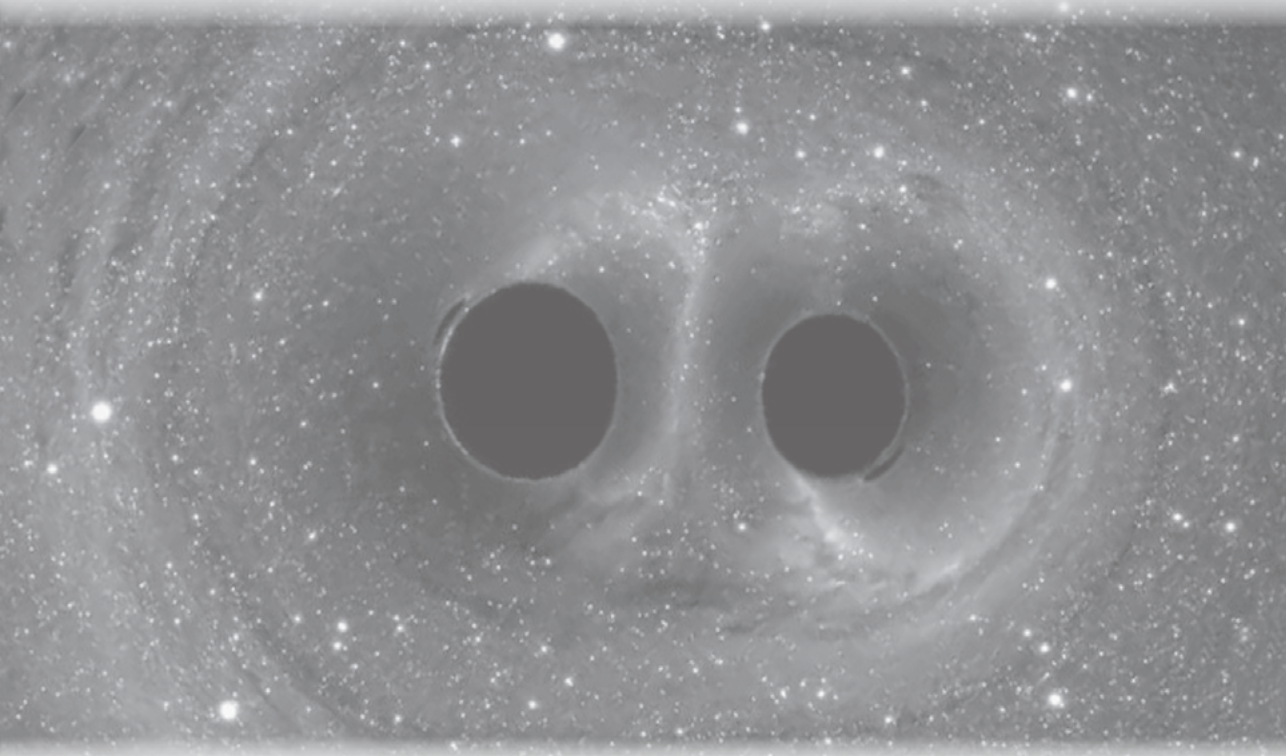
✧ Η δύναμη ηλεκτρικής άπωσης 2 ανθρώπων που είναι ηλεκτρικά φορτισμένοι μόνο με το 1% του συνολικού τους ηλεκτρικού φορτίου	293
▶ Γιατί ο ηλιακός θερμοπυρηνικός αντιδραστήρας έχει μια προσεκτικά ρυθμισμένη απόδοση $\varepsilon=0,007$;	294
▶ Γιατί υπάρχει η αβάσταχτη ελαφρότητα της βαρύτητας στο Σύμπαν, με μια ασύλληπτα ασθενική ισχύ, $I=10^{-39}$;	296
▶ Γιατί οι διαστάσεις του χωρόχρονου είναι $\Delta=3+1$;	300
▶ Γιατί η παράμετρος της πυκνότητας του Σύμπαντος είναι $\Omega=1$;	302
▶ Γιατί η κοσμολογική σταθερά Λ έχει τη χαμηλή τιμή $\Lambda=10^{-52}$;	304
▶ Οι επιλεγμένες τιμές των κοσμικών αριθμών	306
Βιβλιογραφία	311
Ενρετήριο Όρων και Ονομάτων	317

Προλεγόμενα

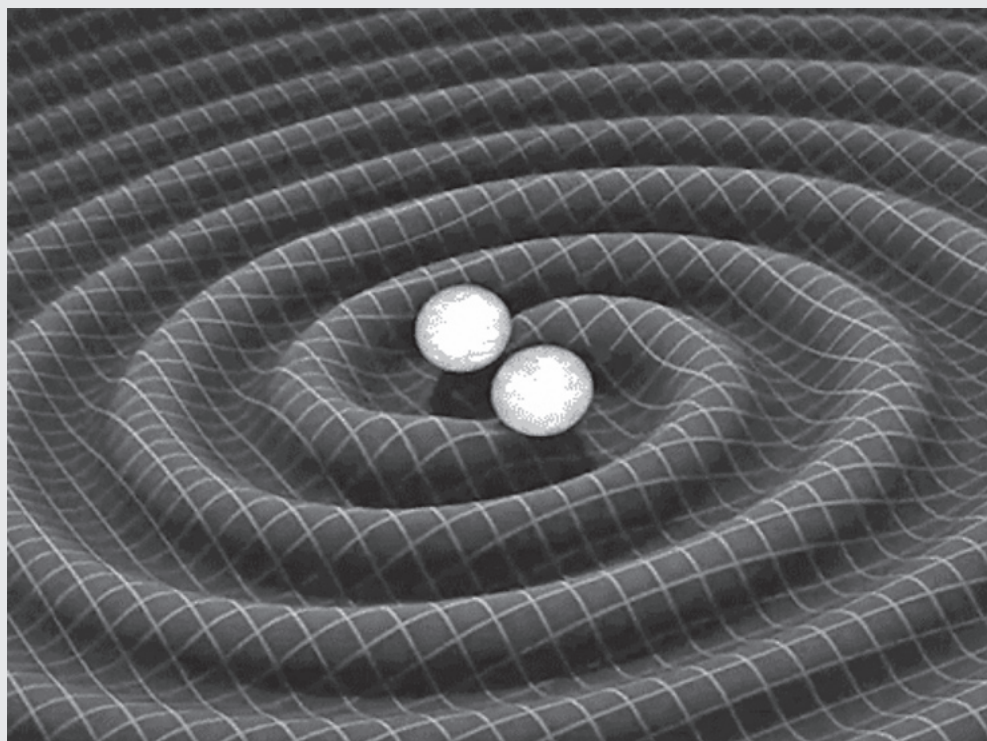
*Το πιο ακατανόητο πράγμα για το Σύμπαν
είναι το ότι είναι κατανοητό.*

(Άλμπερτ Αϊνστάιν, 1879-1955)

Το εκπληκτικό Σύμπαν...
100 χρόνια συναρπαστικών αστρονομικών ανακαλύψεων



Εικόνα προηγούμενης σελίδας: σύγκρουση δύο μελανών οπών. Στις 14 Σεπτεμβρίου 2015 παρατηρήθηκαν τα πρώτα κύματα βαρύτητας του Σύμπαντος, που είχαν προβλεφθεί από τον Albert Einstein, ακριβώς πριν 100 χρόνια (1916), αν και ο ίδιος πίστευε πως δεν ήταν δυνατό να ανιχνευθούν. Αυτά τα κύματα που προήλθαν από τη σύγκρουση δύο μελανών οπών, ταξίδεψαν 1,3 δισεκατομμύρια χρόνια στο αχανές διάστημα πριν φθάσουν στους ανιχνευτές βαρυτικών κυμάτων LIGO των ΗΠΑ.



Η κίνηση δύο μαζών γύρω από το κοινό τους κέντρο μάζας οδηγεί σε ρυτιδώσεις του χώρου τριγύρω τους, δηλ., στην εκπομπή βαρυτικών κυμάτων.

Το εκπληκτικό Σύμπαν και οι συναρπαστικές ανακαλύψεις του

Είναι αλήθεια ότι το Σύμπαν συνέχεια μας εκπλήσσει. Μια από τις πιο πρόσφατες εκπλήξεις που μας επεφύλασσε ήταν στις 14 Σεπτεμβρίου 2015, οπότε έφθασαν στη Γη και ανιχνεύθηκαν από τους ανιχνευτές βαρυτικών κυμάτων LIGO στις ΗΠΑ τα πρώτα κύματα βαρύτητας του Σύμπαντος. Αλλά τί ακριβώς είχε τότε συμβεί;

Ένα ζευγάρι αστεριών μεγάλης μάζας – 40 και 100 ηλιακών μαζών – ξεκίνησαν συντροφικά τη ζωή τους περί τα 2 δισεκατομμύρια έτη μετά τη Μεγάλη Έκρηξη, περιστρεφόμενα το ένα γύρω από το άλλο, σχηματίζοντας ένα διπλό αστρικό σύστημα. Και όπως καθετί σε αυτό τον κόσμο που έχει αρχή έχει κάποτε και τέλος, όταν τα δύο αστέρια εξάντλησαν τα καύσιμά τους τελεύτησαν. Τα άψυχα πτώματά τους σχημάτισαν ένα ζεύγος μελανών οπών, περί τις 29 και 36 ηλιακές μάζες, που περιφέρονταν γύρω από το κοινό τους κέντρο μάζας, όπως στην εικόνα της προηγούμενης σελίδας. Λόγω όμως εκπομπής βαρυτικής ακτινοβολίας από το σύστημα, κάτι που προβλέπει η Θεωρία της Σχετικότητας, η τροχιά των δύο μελανών οπών, βαθμιαία συρρικνωνόταν, έως ότου αυτά τελικά συγκρούστηκαν σχηματίζοντας μια γιγάντια μελανή οπή. Το αποτέλεσμα της σύγκρουσης ήταν η εκπομπή ισχυρής βαρυτικής ακτινοβολίας. Η κολοσσιαία ενέργεια μάλιστα που παρήχθη κατά τη συγχώνευση των δύο μελανών οπών κατά τη διάρκεια των 20 χιλιοστών του δευτερολέπτου της σύγκρουσής τους ήταν μεγαλύτερη αυτής που ακτινοβολούν όλοι μαζί οι αστέρες του παρατηρήσιμου Σύμπαντος. Ήταν αυτά τα βαρυτικά κύματα, τα οποία αφού ταξίδεψαν 1,3 δισεκατομμύρια έτη στο αχανές διάστημα έφθασαν εδώ στις 14 Σεπτεμβρίου 2015!

Ο Άλμπερτ Αϊνστάιν προέβλεψε την ύπαρξη των βαρυτικών κυμάτων περίπου 100 χρόνια πριν (1916), ως μια συνέπεια της θεωρίας της Γενικής Σχετικότητας. Κατέληξε όμως στο συμπέρασμα ότι δημιουργούν τόσο απειροελάχιστου πλάτους ρυτιδώσεις στο χωρόχρονο, ώστε είναι μάλλον αδύνατο να παρατηρηθούν. Πράγματι, το πλάτος ενός βαρυτικού κύματος είναι εξαιρετικά μικρό, $1:10^{21}$. Αυτό σημαίνει ότι ο κάθε βραχίονας μήκους 4 χλμ ενός σύγχρονου συμβολομετρικού ανιχνευτή βαρυτικών κυμάτων θα παραμορφωθεί κατά 10^{-18} του μέτρου στο πέρασμα ενός βαρυτικού κύματος, δλδ, ένα δισεκατομμυριοστό του ενός δισεκατομμυριοστού του μέτρου, ή, ένα, δεκάκις χιλιοστό της ακτίνας ενός πρωτονίου! Δεν είχε δλδ φαντασθεί ο Αϊνστάιν τη σημερινή πρόοδο της τεχνολογίας να μπορεί να ανιχνεύει τόσο απειροελάχιστα μικρές ρυτιδώσεις του χώρου. Και κάτι ακόμη: οι συχνότητες των βαρυτικών κυμάτων είναι συχνότητες που μπορεί να ακούσει το ανθρώπινο αυτί. Έτσι λοιπόν, σήμερα μπορούμε πραγματικά να ακούμε για πρώτη φορά τους ψιθύρους του Σύμπαντος να μας «μιλάνε».

Μια *δεύτερη*, ακόμη πιο πρόσφατη έκπληξη που μας επεφύλασσε το Σύμπαν ήταν το αποτέλεσμα της φωτογράφισης, *για πρώτη φορά*, της σιλουέτας μιας μελανής οπής, στο κέντρο ενός γαλαξία (M87) σε απόσταση από τη Γη περί τα 55 εκατομμύρια έτη φωτός. Στο κέντρο αυτού του γιγάντιου γαλαξία λουφάζει μια τεράστια μελανή οπή την οποία είχαμε υπολογίσει ότι έχει μάζα 6,5 δισεκατομμυρίων ηλιακών μαζών. Ωστόσο, παρά τη μεγάλη αυτή μάζα, ο ορίζοντας γεγονότων (η ακτίνα της μελανής οπής) στο κέντρο του M87 είναι περί τα 250 εκατομμύρια φορές μικρότερη της ακτίνας των 500.000 ετών φωτός του γαλαξία! Έτσι, κανένα τηλεσκόπιο δεν μπορούσε να την διακρίνει. Γι' αυτό, χρειάστηκε να συνδυαστούν 8 μεγάλα ραδιοτηλεσκόπια σε διαφορετικά μέρη του πλανήτη μας σε ένα ενιαίο συμβολομετρικό τηλεσκόπιο (Event Horizon telescope, EHT, Τηλεσκόπιο Ορίζοντα Γεγονότων), για να επιτύχουν την εκπληκτική αυτή φωτογράφιση. Το EHT σε μήκος κύματος 1,3 χιλιοστών του μέτρου, επιτυγχάνει διακριτική ικανότητα 20 εκατομμυριοστά του δευτερολέπτου (marcsec). Αυτή η διακριτική ικανότητα είναι ικανοποιητική για να μπορεί να διαβάσει κάποιος μια εφημερίδα στη Νέα Υόρκη από ένα καφέ του Παρισιού, ή, να διακρίνει ένα μπαλάκι του πινγκ-πόνγκ πάνω στην επιφάνεια της Σελήνης.. Τα δεδομένα, όγκου πολλών petabytes*, συλλέχθηκαν το 2017 και πήρε 2 χρόνια για να αναλυθούν με τη βοήθεια υπερυπολογιστών και καινοτόμων αλγορίθμων. Το εκπληκτικό αυτό αποτέλεσμα προέκυψε από την επίπονη και πολυετή επιστημονική συνεργασία πλέον των 200 αστρονόμων και τεχνικών από όλον τον κόσμο.

Αυτά τα δύο *εκπληκτικά* αποτελέσματα, η παρατήρηση της ύπαρξης μελανών οπών και βαρυτικών κυμάτων είναι μόνο δύο από τις πιο βασικές συνέπειες της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας (ΓΘΣ), η οποία επεξέτεινε τη θεωρία της βαρύτητας του Νεύτωνα. Η ΓΘΣ προτάθηκε από τον Αϊνστάιν αμέσως μετά την αυγή του 20^{ου} αιώνα. Κατά την ΓΘΣ λοιπόν, η βαρύτητα – το βάρος μας – οφείλεται στην καμπύλωση του χωροχρόνου που προκαλείται από την περιεχόμενη μάζα και ενέργεια. Παράλληλα, η ΓΘΣ, ως η νέα πλέον θεωρία της Φυσικής, πραγματοποίησε συγκεκριμένες προβλέψεις φαινομένων, οι οποίες επιβεβαιώθηκαν παρατηρησιακά με θαυμαστό τρόπο η μία μετά την άλλη: καμπύλωση των φωτεινών ακτίνων αστέρων όταν διέρχονται κοντά από τον Ήλιο (από τον Eddington στην ηλιακή έκλειψη του 1919), διαστολή του Σύμπαντος αυτή καθεαυτή και η αναλογική σχέση μεταξύ ταχύτητας απομάκρυνσης-απόστασης (από τους Lemaitre και Hubble, 1927, 1929), μετάπτωση του περιηλίου των πλανητικών τροχιών (ιδιαίτερα του Ερμή, 43 δευτερόλεπτα του τόξου ανά αιώνα, ένα παρατηρησιακό δεδομένο ήδη γνω-

* 1 petabyte ισούται με χίλια τρισεκατομμύρια bytes. Εκτιμάται ότι η ικανότητα του ανθρώπινου εγκεφάλου να αποθηκεύει στη μνήμη του δεδομένα είναι ισοδύναμη με περίπου 2,5 petabytes δυαδικών δεδομένων. Ο μεγάλος επιταχυντής LHC στο CERN αποθηκεύει ετησίως περί τα 15 petabytes.

στό από το 1882), βαρυτική μετάθεση προς το ερυθρό του φωτός Λευκών Νάνων (1954), ύπαρξη μελανών οπών ως το τελικό στάδιο εξέλιξης αστέρων μεγάλης μάζας (Κύκνος X-1, 1971), ανακάλυψη των βαρυτικών φακών (1979), βαθμιαία συρρίκνωση της απόστασης δύο αστέρων νετρονίων σε τροχιά γύρω από το κοινό τους κέντρο μάζας με εκπομπή βαρυτικών κυμάτων (από τους Hulse & Taylor, 1974, 1983), έως τις πολύ πρόσφατες ανακαλύψεις που προαναφέραμε, την άμεση ανίχνευση κυμάτων βαρύτητας κατά τη σύγκρουση δύο μελανών οπών (2015, 2017) και την «φωτογράφιση» της σιλουέτας μιας γιγάντιας μελανής οπής (2019).

Αλλά και σε όλο το μεγάλο εύρος των φυσικών φαινομένων έχουμε εκπληκτικές και συναρπαστικές αστρονομικές ανακαλύψεις την τελευταία εκατονταετία 1909-2019, όπως:

- ▶ η ανακάλυψη ισχυρότατων μαγνητικών πεδίων στις κηλίδες που εμφανίζονται περιοδικά πάνω στη φωτόσφαιρα του Ήλιου (1909),
- ▶ η παρατήρηση εξαιρετικά εστιασμένων πιδάκων (jets) υπέρθερμου πλάσματος που αναβλύζουν με ταχύτητες που πλησιάζουν την ταχύτητα του φωτός από τον πυρήνα ενεργών γαλαξιών και αινιγματικών Κβάζαρς (1918, 1970),
- ▶ η ανακάλυψη μικροσκοπικών αστέρων με ακτίνα όσο η Γη, αλλά μάζα όσο περίπου ο Ήλιος, πράγμα που σημαίνει ότι έχουν πυκνότητα μάζας πολλών τόνων ανά κυβικό εκατοστό, με το «καλλιτεχνικό ψευδώνυμο» των Λευκών Νάνων (1910),
- ▶ η ανίχνευση της εκπομπής ραδιοκυμάτων από τον Γαλαξία, όπου ηλεκτρόνια κινούνται σπειροειδώς γύρω από τις μαγνητικές γραμμές εκπέμποντας ακτινοβολία συγχρότρου (1931),
- ▶ η ανακάλυψη της ύπαρξης μιας μυστηριώδους και αγνώστου φύσεως ύλης - της λεγόμενης *σκοτεινής ύλης* - η οποία κυριαρχεί της συνήθους ύλης που υπάρχει τριγύρω μας (1933),
- ▶ η αναγνώριση ότι στα υπολείμματα αστέρων μεγάλης μάζας που αφήνουν οι εκρήξεις των υπερκαινοφανών (supernova) αναμένονται να υπάρχουν περιστρεφόμενοι αστέρες νετρονίων (πάλσαρς) που συνδέονται με την επιτάχυνση των κοσμικών ακτίνων (1934),
- ▶ η εκπληκτική πρόβλεψη της πυρηνοσύνθεσης των ελαφρών χημικών στοιχείων στο πρώιμο και νεαρό Σύμπαν, όπου τα χημικά στοιχεία υδρογόνο και ήλιο, τα οποία μαζί συνιστούν πλέον του 99,9% της (βαρυονικής) μάζας του Σύμπαντος δημιουργήθηκαν στα λίγα πρώτα λεπτά της ζωής του (1948),
- ▶ η παρατήρηση μυστηριωδών Κβάζαρς στις παρυφές του γνωστού μας Σύμπαντος που εκπέμπουν τεράστιες ποσότητες ενέργειας από ένα σχετικά πολύ μικρό όγκο και γι' αυτό έχουν μια αστεροειδή εικόνα σε ένα τηλεσκόπιο (1963, βλ. άρθρο μας στην «Καθημερινή» 6/3/2016),
- ▶ η παρατήρηση του αρχαιότερου φωτός στο Σύμπαν, της διάχυτης κοσμικής ακτινοβολίας μικροκυμάτων, η οποία αποτελεί και την εκπληκτικότερη παρα-

τηρησιακή ανακάλυψη στην ιστορία της Κοσμολογίας που επαλήθευσε οριστικά τη θεωρία της *Μεγάλης Έκρηξης* (1965),

- ▶ η παρατήρηση εξαιρετικά μαγνητισμένων και ταχύτατα περιστρεφόμενων αστερών νετρονίων που εκπέμπουν δέσμες ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τους μαγνητικούς τους πόλους, των περίφημων φάρων του διαστήματος (πάλσαρς) (1967),
- ▶ η παρατήρηση των εξαιρετικά υψηλής ενέργειας εκλάμψεων ακτίνων-γ, που αποτελούν τις ισχυρότερες εκρήξεις στο Σύμπαν και έχουν ισότροπη εξωγαλαξιακή προέλευση (1967),
- ▶ η πρώτη ανίχνευση κοσμικών πηγών ακτίνων-Χ που εκπέμπονται από υπέρθερμα αέρια εκατομμυρίων βαθμών, μέσω των πρώτων δορυφόρων που τέθηκαν σε τροχιά έξω από την ατμόσφαιρα της Γης (1970),
- ▶ η εισαγωγή της περιόδου του κοσμολογικού πληθωρισμού στις πρώτες στιγμές του Σύμπαντος για την εξήγηση της ισοτροπίας της διάχυτης κοσμικής ακτινοβολίας μικροκυμάτων και της επιπεδότητας του Σύμπαντος (1980),
- ▶ η λεπτομερής χαρτογράφηση της διάχυτης κοσμικής ακτινοβολίας μικροκυμάτων του Σύμπαντος και των ανισοτροπιών της με τον δορυφόρο COBE (1989),
- ▶ η θεώρηση της ύπαρξης μεγάλης μάζας μελανών οπών στα κέντρα πολλών γαλαξιών (1990) αλλά και μεγάλης μελανής οπής στο κέντρο του Γαλαξία (1995),
- ▶ η παρατήρηση του πρώτου εξωπλανήτη γύρω από ένα αστέρι που μοιάζει με τον Ήλιο με τη μέθοδο της ακτινικής ταχύτητας, μια ανακάλυψη που οδήγησε στη γέννηση του πεδίου αναζήτησης εξωπλανητών (1995),
- ▶ η θεμελιώδης παρατήρηση της *επιταχυνόμενης* διαστολής του Σύμπαντος, μια εκπληκτική παρατήρηση που έπεσε στην επιστημονική κοινότητα ως «κεραυνός εν αιθρία», διότι μέχρι τα τέλη του περασμένου αιώνα, θεωρούσαμε ότι η διαστολή του Σύμπαντος φυσιολογικά θα έπρεπε να επιβραδύνεται λόγω της βαρύτητας (1998),
- ▶ η λεπτομερής παρατήρηση της ανισοτροπίας της διάχυτης κοσμικής ακτινοβολίας μικροκυμάτων με τις διαστημικές αποστολές WMAP και Planck και εξ αυτής η μέτρηση της *επίπεδης* γεωμετρίας του Σύμπαντος (2001, 2009),
- ▶ η απογραφή της συνολικής ύλης που περιέχει το Σύμπαν, με το εκπληκτικό αποτέλεσμα ότι η συνήθης ύλη είναι περίπου μόνο το 5%, η σκοτεινή ύλη περίπου το 26% και το υπόλοιπο περίπου 69% αποτελείται από την αγνώστου φύσεως *σκοτεινή ενέργεια* (2010),
- ▶ η παρατήρηση των εκρήξεων *kilonova* που σχηματίζονται κατά τη συγχώνευση δύο αστερών νετρονίων και της επακόλουθης κοσμικής αλχημείας και σύνθεσης των ευγενών μετάλλων χρυσού, λευκόχρυσου, κ.ά. (2017),
- ▶ η ανίχνευση των πρώτων βαρυτικών κυμάτων (2015) και η ανακοίνωση της πρώτης φωτογράφισης μελανής οπής (Απρίλιος του 2019).

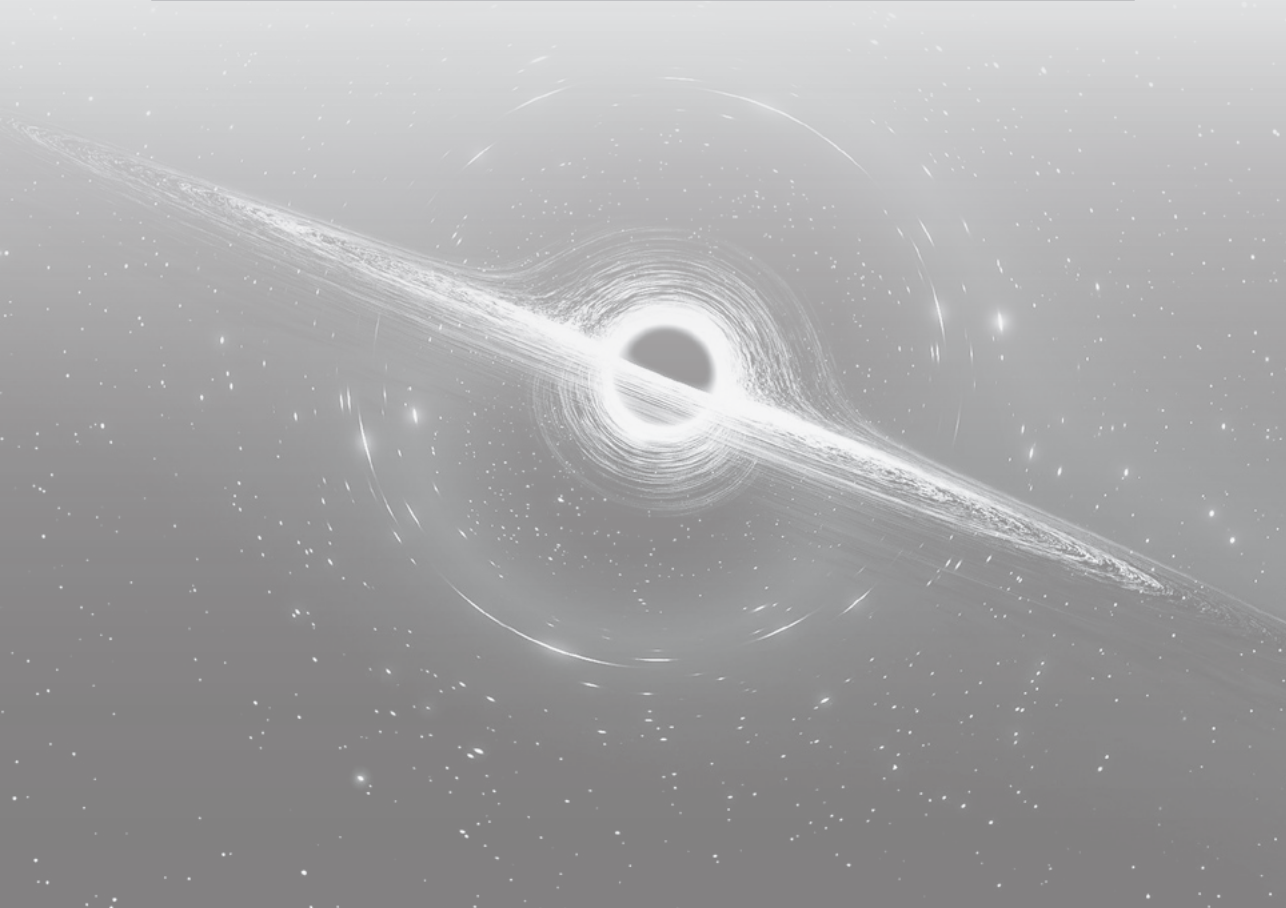
Αστροφυσική

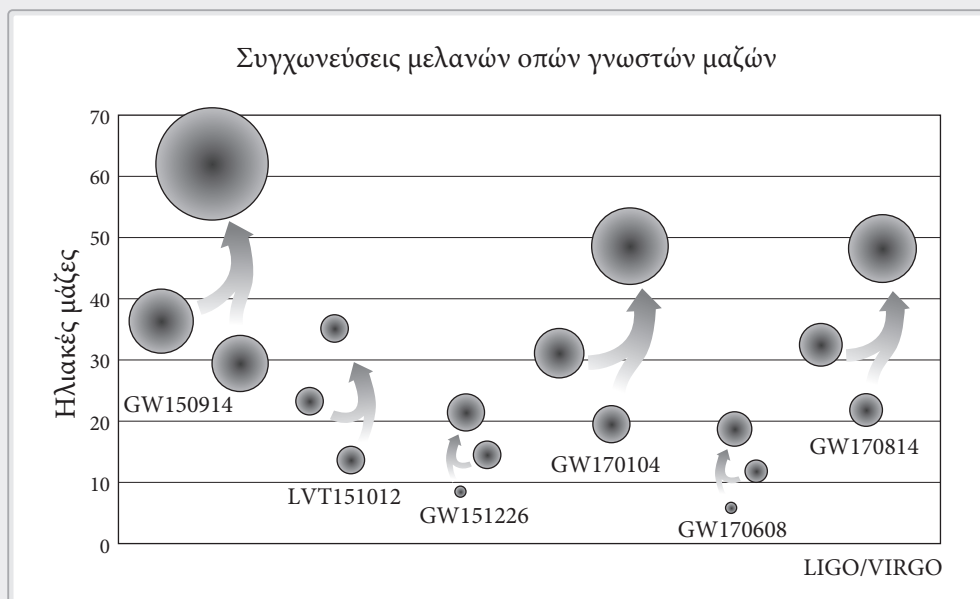
Η Αστροφυσική είναι αρχαιότερη της Φυσικής, και οι απαρχές της ανάγονται στην προσπάθεια κατανόησης της αρμονικής απλότητας της κίνησης των αστερών και των πλανητών.

Η εκπληκτικότερη ανακάλυψη της σύγχρονης Αστροφυσικής είναι ότι οι αστέρες αποτελούνται από τα ίδια άτομα που συναντάμε και εδώ στη Γη, δηλ. οι ίδιοι νόμοι της Φυσικής ισχύουν απaráλλαχτα στο εργαστήριο και στο Σύμπαν.

(The Feynman Lectures on Physics, Vol. I, Ch. 3, 3-4, Astronomy, Richard Feynman, Θεωρητικός Φυσικός, Nobel Φυσικής 1965)

Οι σημαντικότερες ανακαλύψεις στην Αστροφυσική





Εικόνα 1.1. Μελανές οπές που έχουν ανιχνευθεί μέχρι σήμερα από τα συμβολόμετρα LIGO και VIRGO να εκπέμπουν βαρυτικά κύματα κατά τη συγχώνευσή τους. Στις χαμηλότερες μάζες, πηγές βαρυτικών κυμάτων όπως οι GW170608 και GW151226, έχουν μάζες συγκρίσιμες με αυτές που παρατηρούνται στα διπλά συστήματα εκπομπής ακτίνων-Χ. Οι πηγές GW150914, GW170104 και GW170814 φαίνεται να ανήκουν σε ένα πληθυσμό μεγαλύτερων μαζών, ο οποίος δεν είχε παρατηρηθεί πριν την ανίχνευση βαρυτικών κυμάτων. Στην εικόνα φαίνεται και η πηγή LVT151012, μια υποψήφια πηγή του LIGO, η οποία όμως ήταν πολύ αδύνατη για να καταχωρηθεί τελικά σαν πραγματική ανίχνευση. Η πηγή GW150914 έδωσε την πρώτη ανίχνευση βαρυτικών κυμάτων. [Πηγή: LIGO/Caltech/Sonoma State (Aurore Simonnet)]



Εισαγωγή

Στην Αστροφυσική, η οποία ουσιαστικά ξεκίνησε ως επιστήμη στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, συνέβησαν έκτοτε και μέχρι σήμερα κοσμογονικές και συναρπαστικές ανακαλύψεις, οι οποίες άλλαξαν ριζικά το τοπίο της. Καταρχήν, η σχέση ισοδυναμίας μάζας και ενέργειας του Einstein $E=mc^2$, οδήγησε στην επίλυση του βασικού προβλήματος της παραγωγής ενέργειας στους πυρήνες των αστερών, καθώς επίσης και αυτού της πυρηνοσύνθεσης των περισσότερων χημικών στοιχείων του περιοδικού πίνακα. Στη συνέχεια, μεγάλα επίγεια

και δορυφορικά τηλεσκόπια τα οποία κατασκευάστηκαν και επιστρατεύτηκαν για την κατανόηση του Σύμπαντος συνέλεξαν μια πληθώρα φασματοσκοπικών και φωτομετρικών αστρονομικών δεδομένων· η προσπάθεια κατανόησής τους οδήγησε σε τέτοιους ακρογωνιαίους λίθους της αστροφυσικής, όπως το διάγραμμα Hertzsprung-Russell και η συνειδητοποίηση ότι το Σύμπαν περιέχει ένα πλήθος γαλαξιών παρόμοιων με τον Γαλαξία μας, Εικόνα Π1.3.

Μετά το 2^ο Παγκόσμιο πόλεμο, με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και της διαστημικής, ενεφανίσθησαν δυναμικά στο προσκήνιο, αφενός η ραδιοαστρονομία και αφετέρου το *αθέατο Σύμπαν* άρχισε να μελετάται και να αποκαλύπτεται μέσω της εμφάνισης και των άλλων συνιστωσών του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Αυτές οι νέες συνιστώσες είναι η υπεριώδης ακτινοβολία, οι ακτίνες-Χ και -γ, καθώς και η αστρονομία του υπερύθρου, των ραδιοκυμάτων και των χιλιοστομετρικών κυμάτων. Από όλες αυτές τις αντίστοιχες νέες περιοχές της αστροφυσικής, οι ανακαλύψεις ήλθαν η μια μετά την άλλη. Και επειδή ήταν ευρύτερου βεληνεκούς στη φυσική, τιμήθηκαν με αντίστοιχα βραβεία Nobel, όπως η ανακάλυψη της θεωρίας των *Λευκών Νάνων* και της μέγιστης μάζας τους (1929/N1985), η ανακάλυψη του κύκλου πρωτονίου-πρωτονίου στις ηλιακές θερμοπυρηνικές αντιδράσεις (1936/N1967), η ανακάλυψη των μαγνητοϋδροδυναμικών κυμάτων Alfvén (1947/N1970), οι πυρηνικές αντιδράσεις και πυρηνοσύνθεση στο εσωτερικό των αστερών (1957/N1983), η ανάπτυξη της ραδιοσυμβολομετρίας και του πρώτου *πάλσαρ* (1962/1974), η ανακάλυ-



Εικόνα 1.2. Harlow Shapley (δεξιά) και H. D. Curtis (αριστερά), οι δύο πρωταγωνιστές του «μεγάλου Debate» για τις αποστάσεις των «νεφελοειδών», δηλ. των γαλαξιών όπως τους αποκαλούμε σήμερα (1920).

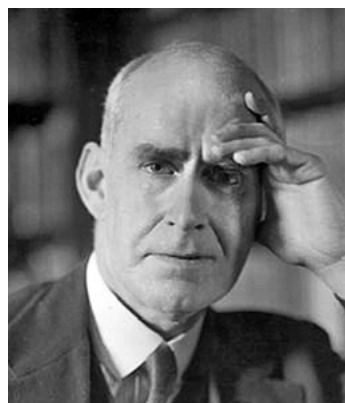
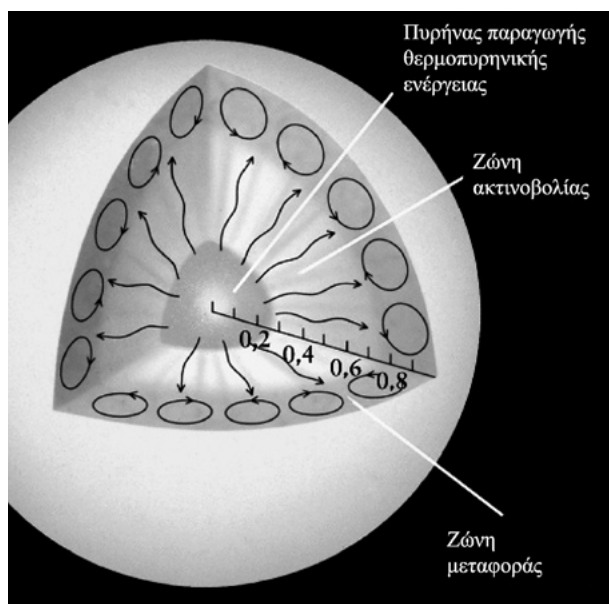
ψη των κανόνων της βαρυγένεσης των χημικών στοιχείων του Sakharov (1967/N1975), η επίλυση του προβλήματος των ηλιακών και κοσμικών νετρίνων (1968/N2002), η ανακάλυψη του διπλού πάλσαρ και έμμεσα της ακτινοβολίας κυμάτων βαρύτητας (1974/N1993), οι ταλαντώσεις ηλιακών νετρίνων και η τελική επίλυση του προβλήματος των ηλιακών νετρίνων (1996-1999/N2005), η πρώτη άμεση ανίχνευση βαρυτικών κυμάτων (2015/N2017) και η παρατήρηση 1^{ου} εξωπλανήτη γύρω από ηλιακού τύπου αστέρα της Κύριας Ακολουθίας (1995/N2019).

Μια παρουσίαση όλων των ανακαλύψεων στην αστροφυσική είναι τεχνικά αδύνατο να χωρέσει στα πλαίσια αυτού του βιβλίου. Γι' αυτό στα ακόλουθα, έχουμε σταχυολογήσει μόνο τις σημαντικότερες από αυτές τις ανακαλύψεις οι οποίες, κατά τη γνώμη μας, άλλαξαν τη ροή της αστροφυσικής. Ζητούμε κατανόηση από τους αναγνώστες μας και τους συναδέλφους αστροφυσικούς, επειδή τις υπόλοιπες δεν μπορούμε να τις αναφέρουμε εδώ. Στους πίνακες που προηγούνται του πρώτου κεφαλαίου αναφέρονται άλλωστε οι περισσότερες εξ αυτών των σημαντικών ανακαλύψεων.

1920

Sir Arthur Eddington και η εσωτερική αστρική δομή

Μέχρι τις αρχές του 20^{ου} αιώνα (1916), οι αστρονόμοι δεν είχαν ιδέα για το τι συμβαίνει στο εσωτερικό των αστερών, απλά επειδή δεδομένα για το εσωτερικό τους δεν υπήρχαν. Ο Sir Arthur Eddington (Εικόνα 1.3) πιστώνεται ότι συνεισέφερε στην ταχύτατη αλλαγή αυτού του σκηνικού. Συγκεκριμένα, διετύπωσε το πρώ-



Εικόνα 1.3. Sir Arthur S. Eddington (1888-1944).

Εικόνα 1.4. Δομή του ηλιακού εσωτερικού.

το ριζοσπαστικό μοντέλο του ηλιακού εσωτερικού (1916), σύμφωνα με το οποίο η προς τα έξω πίεση της κεντρικής ακτινοβολίας μπορούσε να εξισορροπήσει την προς τα έσω βαρύτητα.

Έτσι, συμπεράνε, ότι η πυρηνική θερμοκρασία του Ήλιου πρέπει να είναι μερικά εκατομμύρια βαθμοί (Εικόνα 1.4).

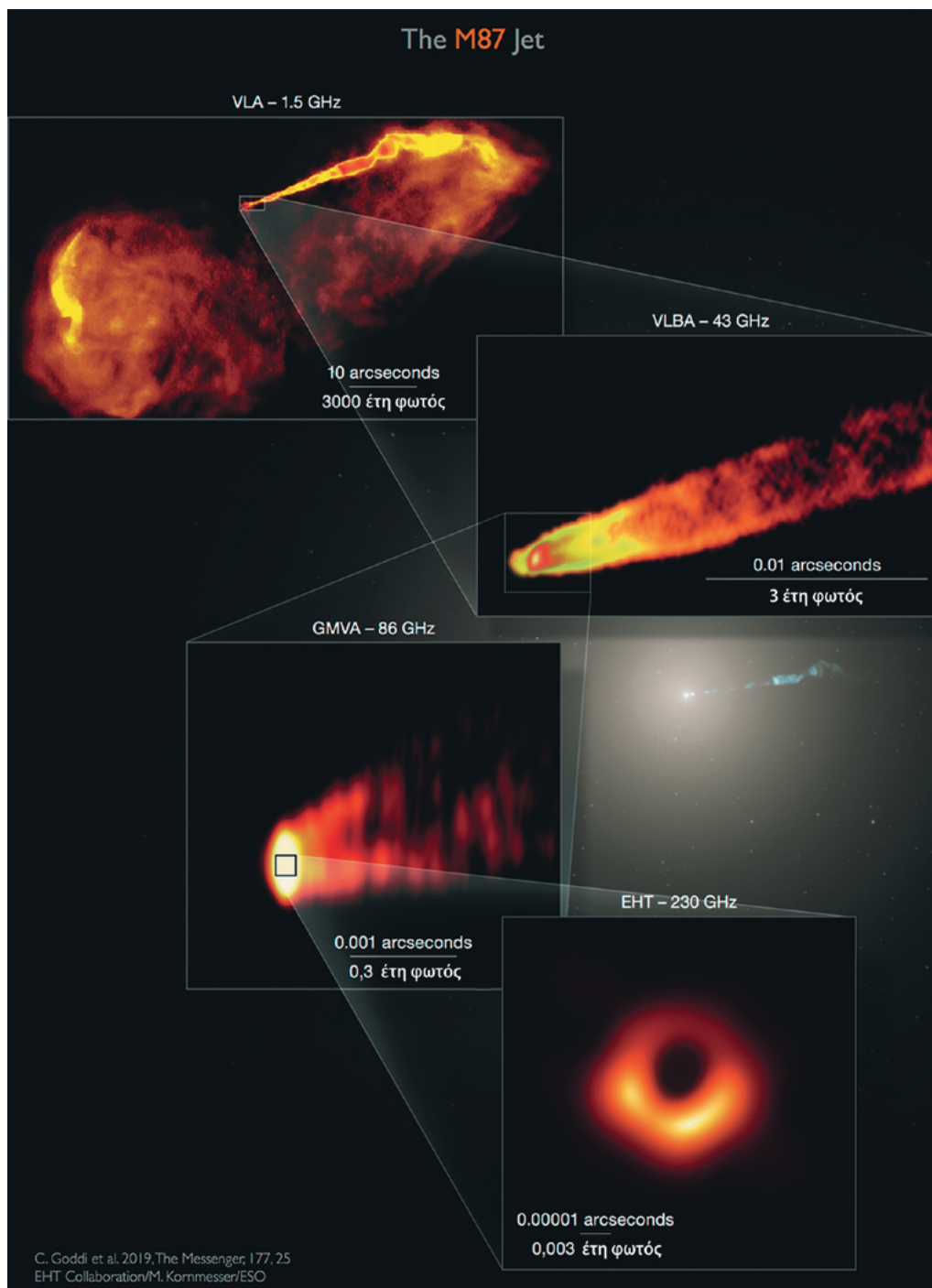
Ο Eddington συνεισέφερε όχι μόνο στην κατανόηση της εσωτερικής αστρικής δομής, αλλά και στην κατανόηση των αστρικών αναπάλσεων, τη θεωρία της σχετικότητας, την κοσμολογία και την εκλαΐκευση της αστρονομίας.

Η αμφίδρομη πορεία της κατανόησης των άστρων και των ατόμων

Η ευρύτητα της ερευνητικής προσέγγισης και σκέψης του Eddington αποτυπώνεται στην ακόλουθη πρόταση από το βιβλίο του *Stars and Atoms* (1920): «Θεωρώ ότι οφείλουμε να σκεφτόμαστε με διττό τρόπο: ο δρόμος της κατανόησης των άστρων πρέπει να διέρχεται μέσα από την κατανόηση του ατόμου και ο δρόμος της κατανόησης των ατόμων πρέπει να διέρχεται μέσα από την κατανόηση των άστρων».

1910 Ανακάλυψη των Λευκών Νάνων

Οι *Λευκοί Νάνοι* είναι το «καλλιτεχνικό ψευδώνυμο» ενός από τα τρία είδη «αστρικών πτωμάτων»: τα άλλα δύο είναι οι *αστέρες νετρονίων* και οι *μελανές οπές* (Εικόνα Π1.1). Πρόκειται για τα υπολείμματα του πυρήνα ενός αστέρα μικρής ή μεσαίας μάζας που απομένουν μετά τον θάνατό του. Οι Λευκοί Νάνοι αποτελούν το τέλος της εξέλιξης αστέρων σχετικά μικρής μάζας και είναι εκείνα τα αστρικά υπολείμματα για τα οποία έχουμε και την καλύτερη κατανόηση, καθώς η βαρυτική συμπίεση δεν έχει φτάσει ακόμα σε σημείο που να προκαλεί εξωτικά φαινόμενα, όπως στις περιπτώσεις των αστέρων νετρονίων και των μελανών οπών, Εικόνα Π1.1. Η ενέργεια που ακτινοβολεί ένας Λευκός Νάνος προέρχεται από την αποθηκευμένη θερμική ενέργεια του προγονικού αστέρα, δεδομένου ότι δεν συμβαίνουν πλέον στο εσωτερικό του θερμοπυρηνικές αντιδράσεις για την παραγωγή νέας ενέργειας. Σε αυτή την τελική κατάσταση οδηγούνται αστέρες των οποίων η μάζα δεν υπερβαίνει τις περίπου 10 ηλιακές μάζες. Αυτό σημαίνει ότι περίπου το 97% όλων των αστέρων στον Γαλαξία θα καταλήξουν σε λευκούς νάνους, και σε αυτό το ποσοστό συμπεριλαμβάνεται ο Ήλιος μας, του οποίου τα εσωτερικά στρώματα θα μετατραπούν σε Λευκό Νάνο, σε περίπου πέντε δισεκατομμύρια χρόνια, περιβαλλόμενο από ένα πλανητικό νεφέλωμα, όπως συζητήσαμε και στο Κεφάλαιο 1 του πρώτου βιβλίου.



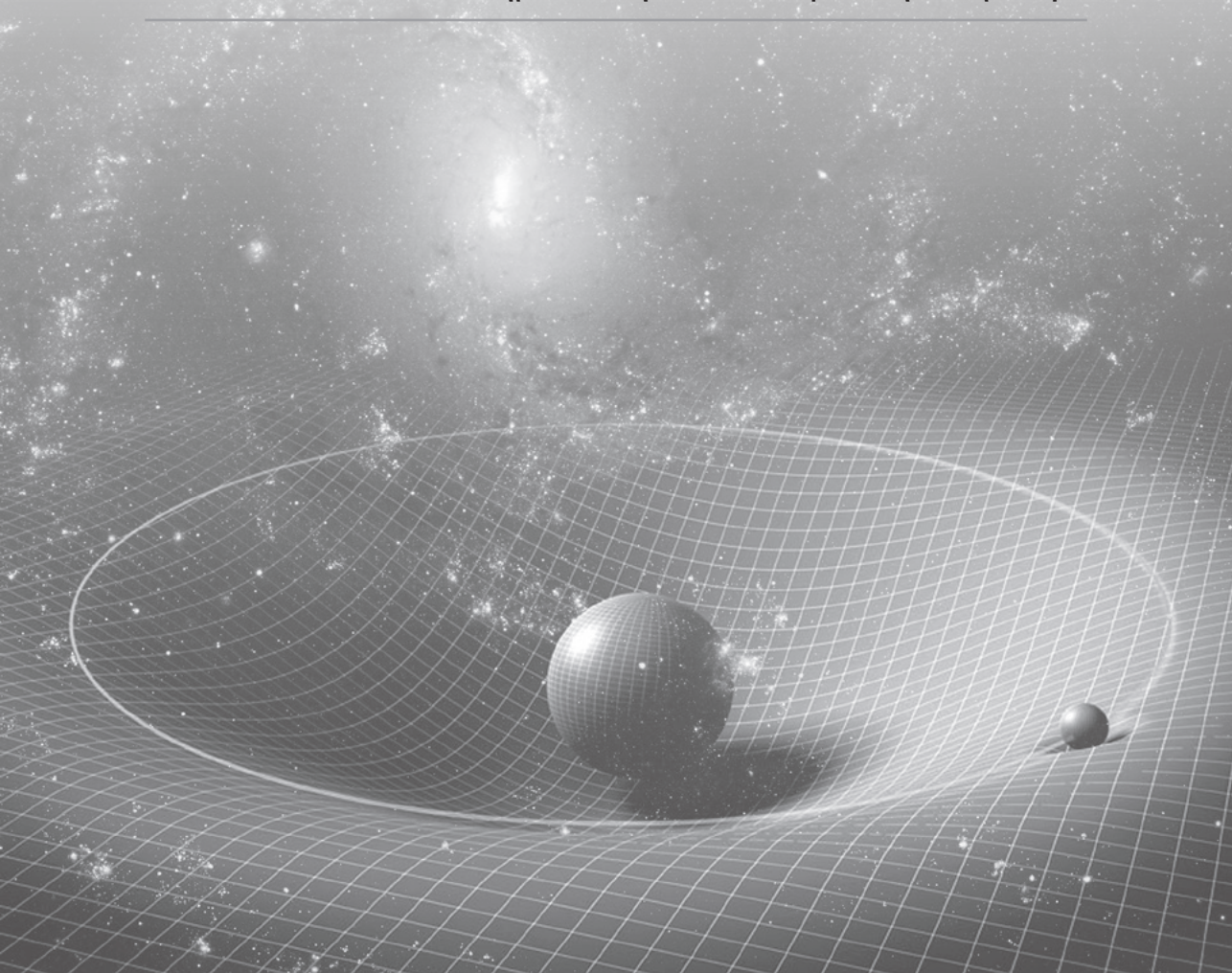
Εικόνα Π1.8 20 χρόνια παρατηρήσεων στα ραδιοκύματα του jet του γιγάντιου ελλειπτικού γαλαξία M87 με μια ολοένα υψηλότερη διακριτική ικανότητα, φθάνοντας τελικά στο κέντρο, όπου το μεγάλο ραδιοσυμβολόμετρο EHT (Τηλεσκόπιο του Ορίζοντα Γεγονότων) απεκάλυψε μια υπερμεγέθη μελανή οπή 6,5 δισεκατομμυρίων ηλιακών μαζών. [Πηγή: ερευνητική συνεργασία EHT].

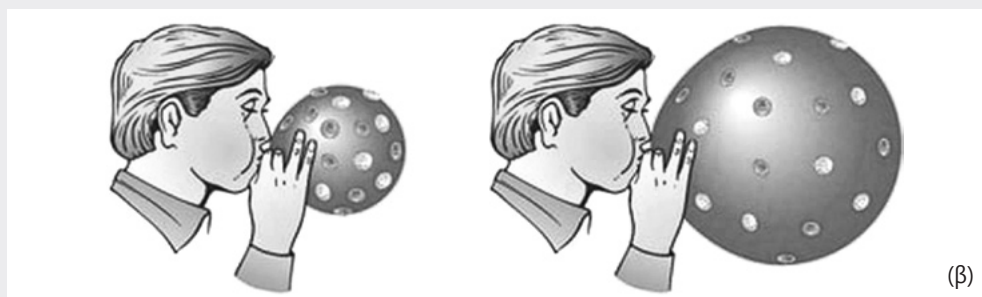
Κοσμολογία

*Πιστεύω πως το Σύμπαν είναι τόσο εκπληκτικό
που μόνο ο Θεός μπορεί να το δημιούργησε.
Δική μου δουλειά είναι απλώς να καταλάβω το πώς το δημιούργησε.*

(Άλμπερτ Αϊνστάιν (1879-1955,
«The Expanded Quotable Einstein»,
Alice Calaprice, Princeton University Press, 2000, p. 202)

Οι σημαντικότερες ανακαλύψεις στην Κοσμολογία





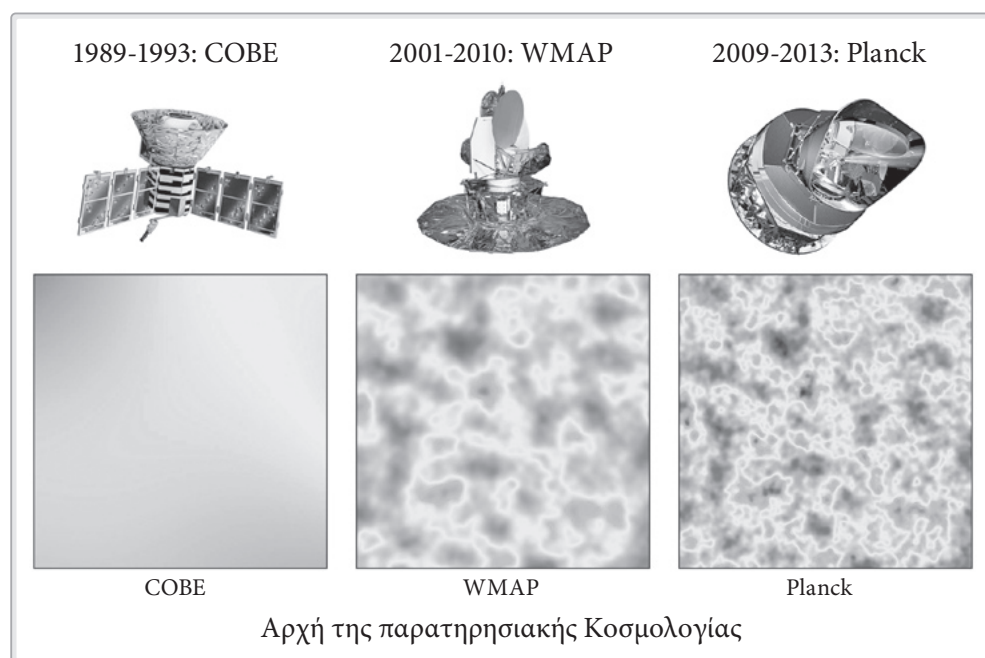
Εικόνα 2.1. Η σημαντικότερη ανακάλυψη στην Κοσμολογία κατά τον προηγούμενο αιώνα είναι η *διαστολή του Σύμπαντος*, η οποία εκφράζεται με τον νόμο των Hubble-Lemaître (1929, 1927). Συγκεκριμένα, οι παρατηρήσεις των γαλαξιών δείχνουν ότι όλοι απομακρύνονται από εμάς, οι κοντινοί με μικρές ταχύτητες και οι πιο μακρινοί με τεράστιες ταχύτητες. Φαίνεται δηλ., σαν όλοι να θέλουν να μας αποφύγουν! Όμως, κάθε παρατηρητής σε οποιονδήποτε άλλο γαλαξία θα έβλεπε το ίδιο, δηλ. ότι όλοι οι άλλοι γαλαξίες απομακρύνονται από αυτόν.. Οι γαλαξίες δεν κινούνται ανεξάρτητα από τον χώρο του Σύμπαντος, αλλά ο χώρος ανάμεσά τους κατά κάποιον τρόπο «ξεχειλώνει». Αυτό εννοούμε όταν λέμε ότι το Σύμπαν διαστέλλεται. Πρέπει επίσης να διευκρινίσουμε ότι αναφερόμενοι στη διαστολή του Σύμπαντος, δεν υπονοούμε ότι το Σύμπαν διαστέλλεται μέσα σε κάποιο χώρο που προϋπάρχει, αλλά ότι ο ίδιος ο χώρος (όπως και ο χρόνος) δημιουργήθηκαν κατά τη *Μεγάλη Έκρηξη* και έκτοτε η σχετική απόσταση μεταξύ δύο οιονδήποτε σημείων του μεγαλώνει (πάνω Εικόνα 2.1.α). Υπ' αυτή την έννοια το Σύμπαν δεν έχει ούτε κέντρο, ούτε όμως υπάρχει τίποτε έξω από αυτό. Ένας απλός τρόπος να οπτικοποιήσουμε τη διαστολή του τρισδιάστατου χώρου είναι να τον προσομοιάσουμε με τη δισδιάστατη ελαστική επιφάνεια ενός μπαλονιού, πάνω στην οποία έχουμε ιχνογραφήσει γαλαξίες. Βλέπουμε ότι όσο περισσότερο φουσκώνουμε το μπαλόνι, τόσο περισσότερο απομακρύνεται ο ένας γαλαξίας από τον άλλον. Μια φυσιολογική συνέπεια της διαστολής του Σύμπαντος είναι η *Μεγάλη Έκρηξη*, η οποία δεν συνέβη σε μία συγκεκριμένη τοποθεσία και εξαπλώθηκε από εκεί, αλλά συνέβη απότομα, παντού. Σύμφωνα με το κλασικό μοντέλο της *Μεγάλης Έκρηξης*, το Σύμπαν δημιουργήθηκε μια δεδομένη χρονική στιγμή στο παρελθόν, ενώ έκτοτε διαστέλλεται και ψύχεται συνεχώς.

1989 COBE

Αρχή της ακριβούς παρατηρησιακής Κοσμολογίας

Την ανακάλυψη του αρχαιότερου φωτός στο Σύμπαν από τους Penzias & Wilson (1965), ακολούθησε για την Κοσμολογία η εκτόξευση του δορυφόρου COBE (Cosmic Background Explorer, 1989-1993). Αυτό το γεγονός σηματοδότησε ουσιαστικά μια νέα εποχή, οριοθετώντας την αρχή της παρατηρησιακής Κοσμολογίας, ως μιας ακριβούς πλέον επιστήμης, Εικόνα 2.33.

Η αρχική ανακάλυψη των Penzias & Wilson (1965) έδωσε μια ισότροπη κοσμική ακτινοβολία με κατεψυγμένη θερμοκρασία περί τους 2,7 βαθμούς Κέλβιν, δλδ, 270,7 βαθμούς Κελσίου υπό το μηδέν! Με πόσο όμως μεγάλη ακρίβεια ήταν πράγματι *ισότροπη* αυτή η κοσμική ακτινοβολία μικροκυμάτων; Αν η θερμοκρασία αυτή ήταν ακριβώς η ίδια, ανεξάρτητα της κατεύθυνσης που την παρατηρούμε, τότε αυτό σημαίνει ότι θα ήταν ακριβώς η ίδια και την εποχή των 380.000 ετών μετά τη *Μεγάλη Έκρηξη*, όταν συνέβη η αποσύνδεση της ύλης από την ακτινοβολία. Σε αυτή την περίπτωση όμως, εκείνη την εποχή δεν θα υπήρχαν ανομοιογένειες



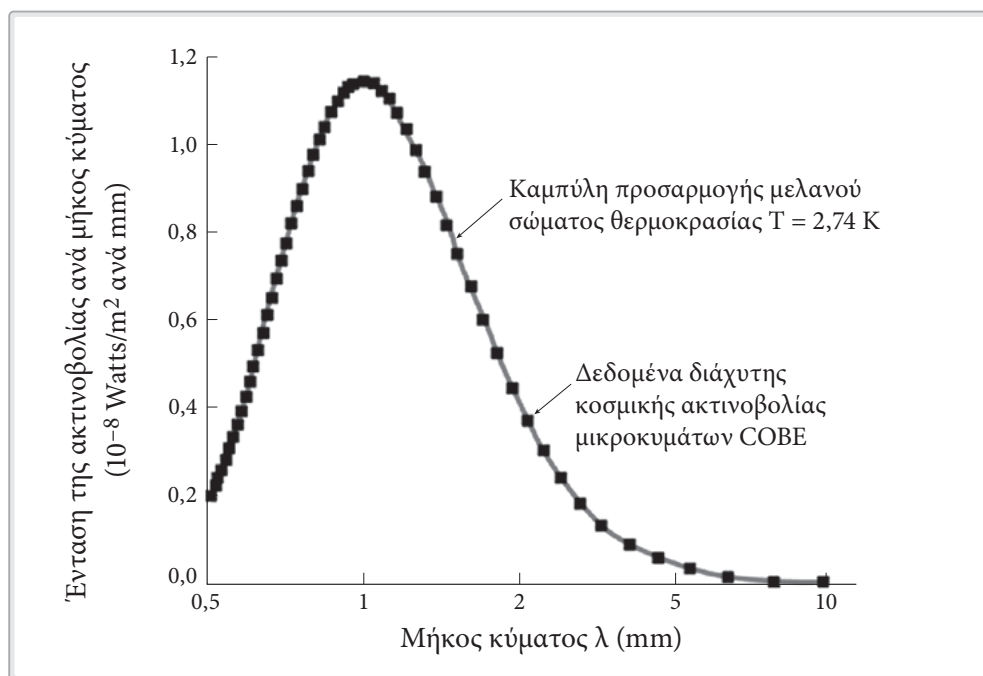
Εικόνα 2.33. Μετά την αρχική ανακάλυψη από τους Penzias και Wilson (1965) της διάχυτης κοσμικής ακτινοβολίας μικροκυμάτων, που ακολούθησε την αρχέγονη *Μεγάλη Έκρηξη*, ακολούθησαν οι τρεις διαστημικές αποστολές: COBE [1989-1993, προσαρμογή δεδομένων σε μελανό σώμα $T = 2.725 \text{ K}$ και ανισοτροπία $\Delta T/T \cong 5 \times 10^{-6}$ στις 7°], WMAP [2001-2010, ανισοτροπία στα $15'$] και Planck [2009-2013, ανισοτροπία $\Delta T/T \cong 2 \times 10^{-6}$ στα $5'$]. [Πηγή: NASA].

στο πεδίο ακτινοβολίας, αλλά ούτε και στην κατανομή της ύλης. Αυτό σημαίνει ότι δεν θα υπήρχαν τότε τα σπέρματα από τα οποία σχηματίσθηκαν αργότερα οι γαλαξίες! Κάτι τέτοιο όμως έρχεται σε αντίφαση με την δημιουργία των γαλαξιών που παρατηρούμε σήμερα. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι σύγχρονες χαρτογραφήσεις μεγάλης κλίμακας του ουρανού δείχνουν σμήνη και υπερσμήνη γαλαξιών με διαστάσεις που φτάνουν τα 300 εκατομμύρια έτη φωτός! Πώς λοιπόν μπορεί κανείς να ερμηνεύσει την εξέλιξη μιας τέλεια ομοιογενούς κατανομής ακτινοβολίας και ύλης σε ένα Σύμπαν που κυριαρχείται από υπερσυγκεντρώσεις γαλαξιών σε «Μεγάλα Τείχη» διασκορπισμένα ανάμεσα σε «Μεγάλα Κενά»; Άρα, θα πρέπει τελικά η θερμοκρασία της κοσμικής ακτινοβολίας μικροκυμάτων σήμερα να μην είναι ακριβώς η ίδια προς όλες τις διευθύνσεις. Ο COBE λοιπόν εκτοξεύτηκε το 1989 για να δώσει απάντηση σε αυτό ακριβώς το ερώτημα. Μια σημαντική θεωρητική εργασία των Sachs & Wolfe είχε ήδη δείξει ότι πρέπει σήμερα να υπάρχουν μεγάλες 2-διάστατες ανισοτροπίες με γωνία μεγαλύτερη της μιας μοίρας ($> 1^\circ$) στη διάχυτη κοσμική ακτινοβολία μικροκυμάτων (Sachs and Wolfe 1967).

Η δορυφορική αποστολή COBE της NASA ήταν η πρώτη αποστολή που μας έδωσε μια πρώτη καλή χαρτογράφηση της διάχυτης κοσμικής ακτινοβολίας μικροκυμάτων του Σύμπαντος και των ανισοτροπιών της.

Συγκεκριμένα, ο COBE ήταν εξοπλισμένος με τρεις πειραματικές διατάξεις: (1) FIRAS (Far InfraRed Absolute Spectrophotometer), με επιστημονικό υπεύθυνο τον George Mather (2) DMR (Differential Microwave Radiometer) με επιστημονικό υπεύθυνο τον George Smoot και (3) DIRBE (Diffuse InfraRed Background Experiment) με επιστημονικό υπεύθυνο τον M.G. Hauser.

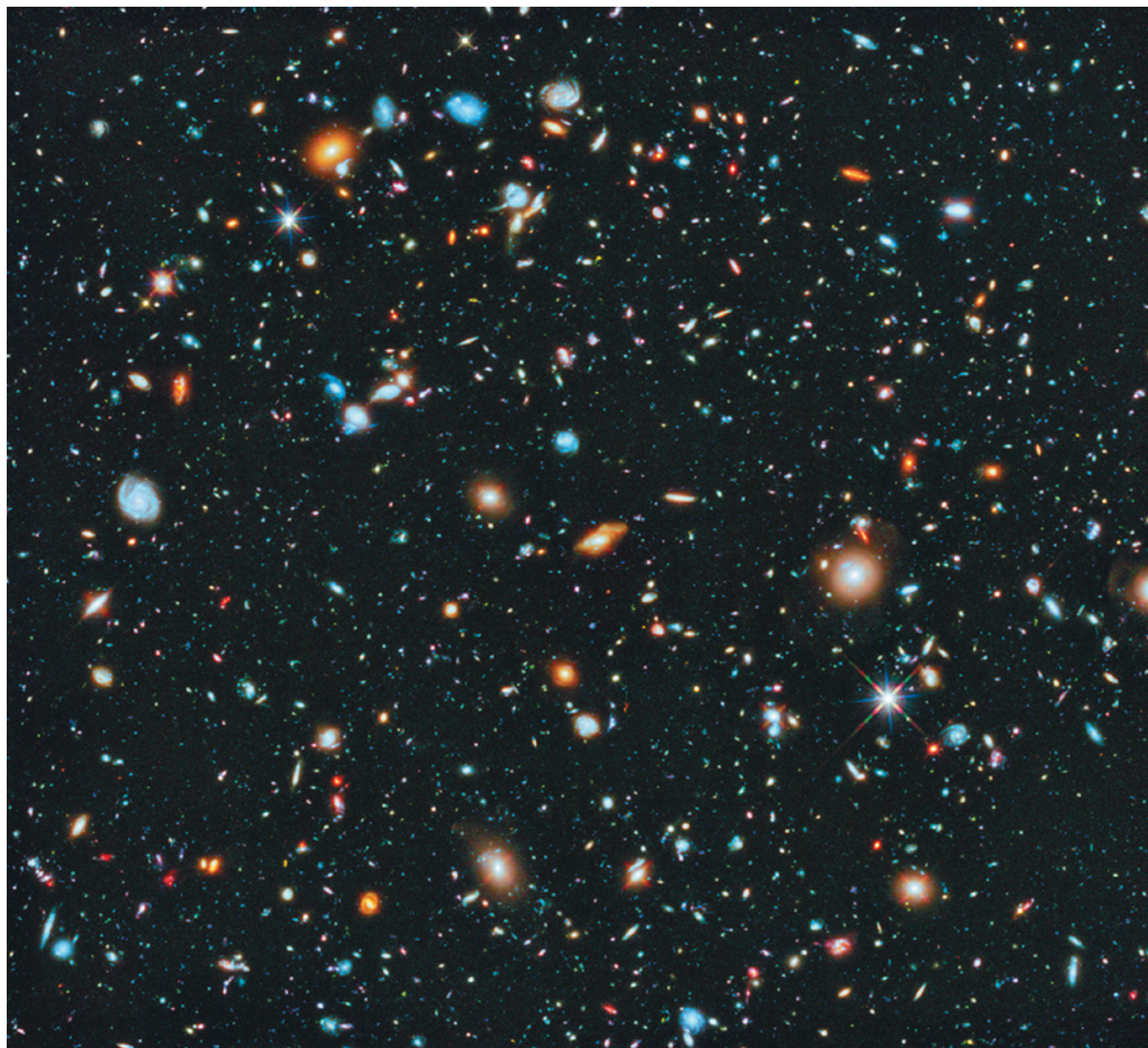
Η διάταξη FIRAS, πραγματοποίησε ανάλυση συχνοτήτων καλύπτοντας μια ευρύτατη περιοχή του φάσματος, με μήκη κύματος από 0,10 έως 10 χιλιοστά, χαρτογραφώντας το 98% του ουρανού, μέχρις ότου εξαντλήθηκε το υγρό ήλιο που προοριζόταν για την ψύξη των ηλεκτρονικών της. Σκοπός αυτού του πειράματος ήταν η σύγκριση του φάσματος της κοσμικής ακτινοβολίας μικροκυμάτων με το φάσμα ενός τέλει μέλανος σώματος. Η επεξεργασία των δεδομένων από τα πρώτα κιόλας λεπτά λειτουργίας του πειράματος κατέδειξαν μια εντυπωσιακή σύμπτωση των πειραματικών σημείων με τη θεωρητική καμπύλη που αντιστοιχεί στην εκπομπή ενός μέλανος σώματος απόλυτης θερμοκρασίας 2,735 βαθμών Kelvin – δηλ, 270,735 βαθμούς Κελσίου υπό το μηδέν – Εικόνες 2.23, 2.34. Είναι εντυπωσιακό ότι η απόκλιση του φάσματος της διάχυτης κοσμικής ακτινοβολίας μικροκυμάτων, όπως αυτό μετρήθηκε από το FIRAS, σε σχέση με τη θεωρητική πρόβλεψη, δεν ξεπερνά το 1%! Ο δορυφόρος COBE, με το δεύτερο όργανο DMR (Differential Microwave Radiometer) διαπίστωσε πολύ αμυδρές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας κατά διεύθυνση, ίσες με 30 μK (30 εκατομμυριοστά του βαθμού)



Εικόνα 2.34. Δεδομένα του COBE για τη διάχυτη κοσμική ακτινοβολία μικροκυμάτων και προσαρμογή τους με μια καμπύλη εκπομπής μελανού σώματος θερμοκρασίας $T=2,74$ K [Πηγή: Mather et al. (1990)].

και πλάτος $\Delta T/T = 5 \times 10^{-6}$ (Smoot et al. 1992), σε συμφωνία με τις θεωρητικές προβλέψεις (Wright et al. 1992). Αυτές ακριβώς οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας αντιστοιχούν στις διακυμάνσεις της πυκνότητας της ύλης που προκάλεσαν τη δημιουργία των γαλαξιών. Ο στόχος του τρίτου οργάνου DIRBE, ήταν η μέτρηση της διάχυτης κοσμικής ακτινοβολίας στο υπέρυθρο, καθώς επίσης και η παρατήρηση απομακρυσμένων γαλαξιών στο υπέρυθρο.

Η αποστολή COBE ήταν απόλυτα επιτυχής. Και τα τρία όργανα της αποστολής λειτούργησαν εξαιρετικά και συνεισέφεραν στο να καταστεί πλέον η κοσμολογία μια ακριβής επιστήμη. Οι προβλέψεις του μοντέλου της *Μεγάλης Έκρηξης* επιβεβαιώθηκαν εντυπωσιακά: υπολογίστηκε η γενική θερμοκρασία της ακτινοβολίας 2,725 K, η οποία ακολούθησε τέλεια το φάσμα του μελανού σώματος. Ανιχνεύθηκαν ανισοτροπίες στη διάχυτη κοσμική ακτινοβολία μικροκυμάτων της τάξεως του 1:100.000. Η σχετική ανακοίνωση της εύρεσης των ανισοτροπιών της κοσμικής ακτινοβολίας μικροκυμάτων από τον George Smoot στις 23 Απριλίου 1992 ότι «η *Μεγάλη Έκρηξη είναι ζωντανή και πολύ-πολύ υγιής*», έγινε δεκτή παγκόσμια με ιδιαίτερο ενθουσιασμό αλλά και ανακούφιση.

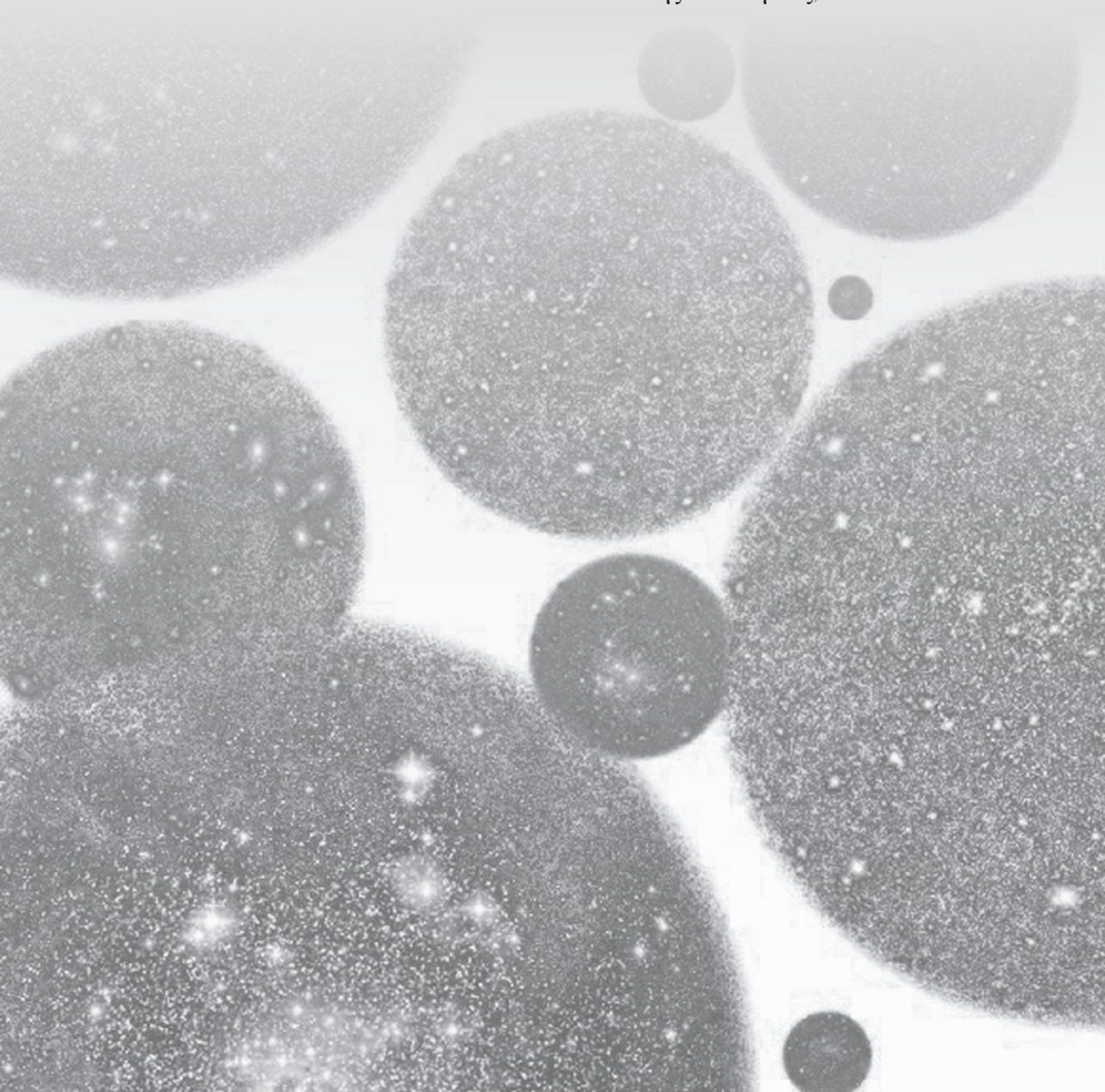


Εικόνα Π2.7. Το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble κατέγραψε την πιο πολύχρωμη και λεπτομερή εικόνα του νεαρού Σύμπαντος, με το **Ultra Deep Field 2014**, το οποίο περιέχει γαλαξίες που χρονολογούνται ότι δημιουργήθηκαν μόλις μερικές εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια μετά τη *Μεγάλη Έκρηξη*. Ενώ πολλά από τα φωτεινά σημεία της εικόνας μπορεί να μοιάζουν με αστέρια, στην πραγματικότητα κάθε φωτεινό σημείο είναι ένας ολόκληρος γαλαξίας – περίπου 10.000 – που περιέχει δισεκατομμύρια αστέρια! Η περιοχή παρατήρησης ευρίσκεται νοτιοδυτικά του αστερισμού του Ωρίωνα στον αστερισμό της Καμίνου (Fornax) του νοτίου ημισφαιρίου. Η ορθογώνια εικόνα έχει εύρος ίσο περίπου με το ένα δέκατο της γωνιακής διάμετρος της Πανσελήνου, δηλ, ίσο περίπου με 1 προς 26.000.000 της συνολικής επιφάνειας του ουρανού. Η φωτογραφία είναι το τελικό αποτέλεσμα παρατηρήσεων πλέον των 10 ετών, συνολικού χρόνου έκθεσης, περίπου 600 ωρών που έγιναν κατά τη διάρκεια 841 τροχιών του διαστημικού τηλεσκοπίου Hubble γύρω από τη Γη. [Πηγή: NASA/Hubble].

Επιλεγόμενα

Κάλλιστον κόσμος, ποίημα γαρ Θεού.

Θαλής ο Μιλήσιος, 643-548 π.Χ.



Εάν η βαρύτητα ήταν ασθενέστερη, τότε στο εσωτερικό του Ήλιου και των άλλων αστεριών η εσωτερική πίεση, που πάντα είναι σε ισορροπία με το βάρος των υπερκείμενων στρωμάτων τους, θα ήταν χαμηλότερη. Αλλά χαμηλότερη εσωτερική πίεση θα αντιστοιχούσε σε χαμηλότερη θερμική ενέργεια των πρωτονίων του ηλιακού εσωτερικού. Με τη σειρά τους αυτά τα πρωτόνια δεν θα μπορούσαν να ξεπεράσουν το φράγμα Coulomb για να ξεκινήσει η θερμοπυρηνική σύντηξη. Το αποτέλεσμα θα ήταν ότι ο Ήλιος και τα άλλα αστέρια να μην λάμπουν! Αντίθετα, εάν η βαρύτητα ήταν ισχυρότερη στο ηλιακό εσωτερικό, η πίεση ισορροπίας θα ήταν υψηλότερη. Έτσι όμως τα θερμοπυρηνικά καύσιμα θα καίγονταν και θα εξαντλούνταν πολύ πιο γρήγορα. Ως αποτέλεσμα, τα αστέρια θα ζούσαν μια μικρότερη διάρκεια ζωής, πριν δοθεί τελικά σε κάποιο γειτονικό τους πλανήτη η ευκαιρία στη ζωή να εξελιχθεί και να αναπτυχθεί!

Πρόσφατα, έχουν αναπτυχθεί εναλλακτικές θεωρίες για να εξηγήσουν τη συμπεριφορά της βαρύτητας. Μια από αυτές, περιλαμβάνει το *μποζόνιο Higgs* που ανακαλύφθηκε το 2012 και πιστεύεται ότι σχετίζεται άμεσα με τη δύναμη της βαρύτητας. Συγκεκριμένα, όσο περισσότερη μάζα έχει το *μποζόνιο Higgs*, τόσο ισχυρότερη θα ήταν η βαρύτητα στο Σύμπαν. Ουσιαστικά, το ερώτημα «Γιατί η βαρύτητα είναι τόσο αδύναμη;» ανάγεται στο ερώτημα, «Γιατί το *μποζόνιο Higgs* δεν έχει μεγαλύτερη μάζα;» Νέες θεωρίες προσπαθούν να απαντήσουν σε αυτό το ερώτημα υποστηρίζοντας ότι μετά τη *Μεγάλη Έκρηξη*, δημιουργήθηκε μια μεγάλη ποικιλία από διαφορετικά *μποζόνια Higgs*, το καθένα με διαφορετική μάζα. Τα *μποζόνια Higgs* με μεγάλες μάζες ήταν ασταθή, οπότε διασπάστηκαν σε μικρότερης μάζας. Έτσι, με την πάροδο του χρόνου, όλα τα βαρύτερα *μποζόνια Higgs* μεταστοιχειώθηκαν σε όλο και πιο ελαφρύτερα, έως ότου επιβίωσε μόνο το ελαφρύτερο δυνατό είδος *μποζονίου*. Αυτό το εξαιρετικά ελαφρύ *μποζόνιο Higgs* είναι αυτό που ανακαλύφθηκε το 2012 από τον μεγάλο επιταχυντή (Large Hadron Collider) στο CERN.

Γιατί οι διαστάσεις του χωρόχρονου είναι $\Delta=3+1$;

Πολύ συχνά, όταν βαδίζουμε στο δρόμο, ή όταν τον διασχίζουμε μπαίνοντας στο σπίτι μας, αλλά και όταν ανεβαίνουμε τις σκάλες, φανταζόμαστε ότι αυτές είναι και οι μοναδικές $N=3$ διαστάσεις του χώρου που μπορούν να υπάρξουν. Και όμως, θα μπορούσαν να υπήρχαν μόνο δύο ($N=2$), ή ακόμη και τέσσερεις ($N=4$) διαστάσεις στο χώρο τριγύρω μας. Ίσως σε κάποιο άλλο Σύμπαν, οι διαστάσεις του χωρόχρονου να μην είναι $3+1=4$!

Για παράδειγμα, αν υπήρχαν τέσσερεις (4) χωρικές διαστάσεις, ο νόμος της παγκοσμίου έλξεως, ή ο νόμος της ηλεκτροστατικής δύναμης ανάμεσα σε δυο φορ-

τία (νόμος του Coulomb), θα έδινε την αντίστοιχη δύναμη να μεταβάλλεται αντίστροφα με τον *κύβο* της απόστασης και όχι με το τετράγωνο. Ιδού όμως τι θα συνέβαινε σε αυτή την περίπτωση: μια μικρή διαταραχή της τροχιάς ενός πλανήτη σαν τη Γη που κινείται γύρω από ένα άστρο σαν τον Ήλιο, λόγω του νόμου της βαρύτητας, θα τον οδηγούσε, είτε σε ταχύτατη κατάρρευση στη θερμή αγκαλιά του γονικού του αστεριού, ή σε μια απέλπιδα διαφυγή στο μακρινό και κρύο διάστημα. Το ίδιο θα συνέβαινε και στην τροχιά ενός ηλεκτρονίου που κινείται γύρω από ένα πυρήνα. Αυτό είναι σε αντιδιαστολή με ότι συμβαίνει με το νόμο του αντίστροφου τετραγώνου που ισχύει στον τρισδιάστατο χώρο μας, όπου ένας πλανήτης που ελαφρά επιταχύνεται, ή επιβραδύνεται στην τροχιά του, απλά μετατοπίζεται σε μια ελαφρά διαφορετική τροχιά από την αρχική. Δηλ., οι τροχιές των πλανητών γύρω από τον Ήλιο, αλλά και των ηλεκτρονίων γύρω από τον πυρήνα των ατόμων είναι ευσταθείς *μόνο* στον τρισδιάστατο χώρο μας!

Αξίζει να σημειωθεί ότι ήδη από το 1917, ο Αυστριακός θεωρητικός φυσικός Paul Ehrenfest είχε δείξει ότι εάν υπάρχει μόνο μία διάσταση για το χρόνο αλλά περισσότερες από τρεις διαστάσεις για το χώρο, η τροχιά ενός πλανήτη γύρω από ένα κεντρικό σώμα, όπως ο Ήλιος, *δεν είναι ευσταθής* (Ehrenfest 1917).

Το πρόβλημα είναι ανάλογο με την κίνηση ενός σώματος εντός πεδίου ελκτικής κεντρικής δύναμης που μεταβάλλεται αντίστροφα με τον *κύβο* της απόστασης. Στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχουν ως λύσεις ελλειπτικές τροχιές, αλλά το σώμα είτε καταρρέει στο ελκτικό κέντρο ακολουθώντας σπειροειδή τροχιά, ή, διαφεύγει στο άπειρο ακολουθώντας παραβολική τροχιά (βλ. Κ. Τσίγκανος, *Εισαγωγή στη Θεωρητική Μηχανική*, 2014). Το ίδιο ισχύει και για την τροχιά ενός άστρου γύρω από το κέντρο του γαλαξία.

Ο Ehrenfest έδειξε επίσης ότι εάν ο αριθμός των διαστάσεων του χώρου είναι άρτιος αριθμός, τότε τα διαφορετικά μέρη ενός παλμού κινούνται με διαφορετικές ταχύτητες. Την ίδια περίπου εποχή (1922) ο Hermann Weyl είχε δείξει ότι οι εξισώσεις του Maxwell για τον ηλεκτρομαγνητισμό ισχύουν μόνο εφόσον έχουμε τρεις διαστάσεις για το χώρο και μία για το χρόνο. Η περίπτωση με 1 χωρική διάσταση και 3 χρονικές διαστάσεις έχει την περίεργη ιδιότητα ότι η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι ένα κατώτερο όριο στην ταχύτητα της ύλης, η οποία αποτελείται από *ταχυνόνια*.



Εικόνα 3.5. Ο Paul Ehrenfest (1880-1933) έδειξε ότι δεν θα υπήρχαν άτομα και πλανήτες αν δεν ζούσαμε σε έναν τρισδιάστατο χώρο.

A

Αγ. Ιωάννης ο Χρυσόστομος, 46
 ακτίνα Schwarzschild (Σβάρτσιλντ), 113, 144
 ακτίνα του παρατηρήσιμου Σύμπαντος, 206
 ακτινική αυτοομοιότητα, 56
 ακτινοβολία μετάλαμψης (afterglow in GRBs), 89
 αλλαγή φάσης στο τέλος της μεγάλης ενοποίησης GUT (πληθωρισμός), 213
 αλλαγή φάσης του νερού, 210
 Αλτάιρ (Altair), 68
 ανακυκλωμένος πάλσαρ (recycled pulsar), 80
 ανθρωπική αρχή, 178
 ανομοιογένειες διάχυτης κοσμικής ακτινοβολίας μικροκυμάτων, 228
 αντιβαρύτητα, 183, 185, 211, 296, 303
 αντι-κουάρκ και γκλουόνια, 213
 αντίστροφη διάσπαση-β, 63
 αντίστροφο κρουστικό κύμα (reverse shock wave), 88
 αποστολή Planck, 165
 αποσύνδεση ύλης-ακτινοβολίας, 275
 αργός μαγνητικός περιστροφάς, 57
 αριθμητικό πεδίο του πληθωρισμού, 213
 Αρχέγονο Άτομο (Primeval Atom), 156, 157
 αρχή της αιτιότητας της Σχετικότητας, 205
 αρχή της απροσδιοριστίας του Heisenberg, 217
 ασθενείς πυρηνικές δυνάμεις, 248, 250, 281, 292
 αστέρια νετρονίων, 62, 64, 69, 98, 111
 αστερισμός του πτηνού Γερανός, 167
 αστεροειδής, 92
 Αστεροσκοπείο του Harvard, 28
 αστροφυσικός πίδακας (jet), 55
 ασυμμετρία της βαρυονικής ύλης, 290

ασυνέχεια επαφής (contact discontinuity), 88
 αυτοομοιότητα (selfsimilarity), 54
 αφανισμοί ζωντανών ειδών στη Γη, 90

B

βαρυονική ύλη, 301
 βαρυτικές δυνάμεις, 248, 281
 βαρυτική μετάθεση προς το ερυθρό, 140
 βαρυτικό κύμα, 77, 94, 97
 βαρυτικός φακός, 44
 Βέγας (Vega), 68
 βολομετρική φωτεινότητα, 64
 βραβείο Nobel Φυσικής του
 1901: 41, 1907: 8, 1921: 7, 1933: 306,
 1962: 11, 41, 1965: 293, 1967: 9,
 1969: 258, 1970: 10, 1974: 68, 1978: 182,
 1979: 244, 1983: 10, 1985: 9, 1993: 77,
 2002: 12, 2004: 223, 2006: 223,
 2011: 192, 2015: 13, 2019: 12, 13

Γ

γαλαξιακά σμήνη, 198
 γαλαξιακό κέντρο, 62
 γαλαξίας της Ανδρομέδας (M31), 168, 193
 γαλαξίες Seyfert, 57
 Γενική Θεωρία της Σχετικότητας (ΓΘΣ), 76, 93, 115, 137, 152
 γεωμετρία του χώρου του Σύμπαντος, 226
 γκλουόνια, 247, 287, 288
 γρήγορος μαγνητικός περιστροφάς, 57

Δ

δακτυλιοειδείς γαλαξίες, 193
 δακτυλιοειδές νεφέλωμα, 20
 δαχτυλίδι του Einstein, 45
 Δεβόνια περίοδος, 92
 διάγραμμα Hertzsprung-Russell, 31, 120
 διακυμάνσεις της ενέργειας του κενού, 209

διαμάχη Chandrasekhar - Eddington, 27
 διάσπαση- β^- , 293
 διαστάσεις του χωρόχρονου, 298
 διάσταση παρατηρήσιμου Σύμπαντος στο
 τέλος του πληθωρισμού, 215
 διαστημικό τηλεσκόπιο ακτίνων- γ Fermi
 (Fermi space telescope), 97, 99
 διαστημικό τηλεσκόπιο ακτίνων- γ Integral
 (Integral space telescope), 97, 99, 106
 διαστημικός καιρός (space weather), 66
 διαστολή του Σύμπαντος, 99, 138, 157
 διάταξη IPS (interplanetary pulsar array), 66
 διάχυτη κοσμική ακτινοβολία μικροκυμά-
 των, 137, 152, 157, 158, 169, 181, 239
 διηγεμένο κβαντικό κενό, 210
 διοξείδιο του αζώτου, 90
 διπλός πάλσαρ, 76, 95

E

Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 32
 εικονικά σωματίδια, 209
 εκλάμψεις ακτίνων- γ (gamma ray bursts,
 GRB), 81, 83, 90, 99
 εκφυλισμένο αέριο ηλεκτρονίων, 27
 ελαφρότητα της βαρύτητας στο Σύμπαν, 294
 ενέργεια του κβαντικού κενού, 217
 ενέργεια του κενού, 153
 ενεργός γαλαξιακός πυρήνας (active galactic
 nucleus, AGN), 47, 55, 58, 60
 εξισώσεις της μαγνητοϋδροδυναμικής, 55
 εξισώσεις του Friedmann, 152, 185
 εξωτερικό κρουστικό κύμα (external shock
 wave), 88
 επανα-ιονισμός, 226
 επιβραδυνόμενο Σύμπαν, 233
 επίπεδη αυτοομοιότητα, 56
 επιτεδότητα Σύμπαντος, 203
 επιταχυνόμενο Σύμπαν, 233
 εποχή παγετώνων, 90
 εποχή της μεγάλης ενοποίησης (grand unifi-
 cation era), 204, 250, 254
 εποχή της ακτινοβολίας, 260
 εποχή της επανασύνδεσης (recombination
 era), 240
 εποχή της πυρηνοσύνθεσης, 243
 εποχή της υλοκρατίας, 189, 239
 εποχή της φωτοκρατίας, 239, 243

εποχή του επανα-ιονισμού, 237, 239
 εποχή του πληθωρισμού, 256
 εποχή των ηλεκτρασθενών αλληλεπιδράσε-
 ων, 213
 εποχή των σκοτεινών αιώνων, 239
 εποχή των σωματιδίων, 243
 εποχή Planck, 245
 εργασία αβγ, 170
 εργαστήριο Cavendish, 66
 ερώτημα της επιτεδότητας, 219
 εστιασμένη εκροή (jet), 82
 εσωτερικό κρουστικό κύμα, 88

Z

ζεύγος περιστρεφόμενων μελανών οπών, 96

H

ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις, 248, 281, 289
 Ησίοδος, 22

Θ

Θερινό Τρίγωνο, 20
 θερμίδες, 64
 θερμοκρασία παγώματος, 174
 θερμό μίγμα κουάρκ, 213
 θερμοπυρηνική έκρηξη (thermonuclear
 explosion), 65
 θεωρία της κβαντικής βαρύτητας, 204
 θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης, 156, 158, 170
 θεωρία της συνεχούς δημιουργίας, 158, 170
 θεωρία του Παντός, 251, 253
 θεωρία του πληθωρισμού, 219

I

ιπποδύναμη, 64
 ισότροπο και ομογενές Σύμπαν, 145, 152
 ισχυρές πυρηνικές δυνάμεις, 248, 281, 286-7

K

καθιερωμένο πρότυπο (standard model), 244
 Καζάνας Δημοσθένης, 209
 καθιερωμένο πρότυπο της Μεγάλης Έκρη-
 ξης, 229
 καμπύλες περιστροφής σπειροειδών γαλα-
 ξιών, 166
 καμπύλωση αστρικών φωτεινών ακτίνων,
 140

καμπυλότητα του χώρου, 147
 καμπύλωση φωτεινών ακτίνων, 46
 κβάζαρ 3C 48, 40
 κβάζαρ 3C273, 38, 52, 59
 κβάζαρς, 51, 58, 151, 169, 236
 κβαντική μηχανική, 80
 κβαντική βαρύτητα, 251
 κβαντική χρωμοδυναμική, 249, 258
 κβαντομηχανική, 63
 Κηφείδες, 70, 159
 κινητήρας Ferrari, 65
 κλειστό Σύμπαν, 147
 κόμη της Βερενίκης, 164
 Κοντόπουλος Γεώργιος, 33
 Κοπερνίκεια αρχή, 178
 κοσμικά νήματα (cosmic filaments), 196, 197, 201, 202
 κοσμικές ακτίνες, 62, 64
 κοσμική σύνθεση πυρήνων χημικού στοιχείου λευκόχρυσου, 111, 112
 κοσμική σύνθεση πυρήνων χημικού στοιχείου χρυσού, 111, 112
 κοσμικά κενά (cosmic voids), 198, 201, 221
 κοσμικά τείχη (cosmic walls), 196, 221
 κοσμικός ιστός (cosmic web), 197, 198, 201, 203
 κοσμικό νήμα Ιχθύων-Κήτους, 200
 κοσμικός μας ορίζοντας, 206, 207
 Κοσμολογία, 137
 κοσμολογία της συνεχούς δημιουργίας, 147
 κοσμολογική ερυθρομετατόπιση, 186
 κοσμολογική σταθερά Λ , 139, 152, 190, 302
 κοσμολογικός πληθωρισμός, 204, 256
 Κρητιδική περίοδος, 92
 κρίσιμη πυκνότητα Σύμπαντος, 227, 229
 κρουστικό κύμα (shock wave), 51, 64, 86, 88, 107, 118
 κύματα βαρύτητας, 140
 κοσμολογικό μοντέλο ψυχρής σκοτεινής ύλης (Λ -CDM), 224, 229

Λ

λαμπτήρας πυρακτώσεως, 64
 λευκός λάνος, 19
 λευκός νάνος 40 Eridani, 21

Μ

M4, 23
 M87, 47, 59, 60, 112, 115, 117, 118, 144, 195
 M106, 60
 μαγνητικά μονόπολα, 205, 254
 μαγνητική εστίαση, 118
 μαγνητοπεριστροφικός άνεμος, 56
 μαγνητοϋδροδυναμική, 55
 μαγνητο-φυγοκεντρικός μηχανισμός, 118
 Μεγάλη Έκρηξη, 95, 108, 109, 137, 152, 154, 157, 244, 245, 290, 296, 298
 μεγάλης μάζας μελανή οπή, 85, 143
 Μεγάλη Συντριβή (Big Crunch), 191, 226, 233, 296, 302
 Μεγάλη Σχάση (Big Rip), 191
 Μεγάλη Ψύξη (Big Freeze), 191
 Μεγάλο Κενό, 199
 μεγάλο τείχος Sloan, 200
 μεγάλο κοσμικό τείχος, 197
 μελανή οπή, 95, 143
 μελανός νάνος, 21
 μελανές οπές, 64
 μεσημβρινή αυτοομοιότητα, 56
 Μεσοζωικός αιώνας, 92
 μετάλαμψη (afterglow), 82
 μετάπτωση του περιάστρου, 75
 μετάπτωση του περιηλίου της τροχιάς του Ερμή, 76, 140, 141
 μετρική Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker (FLRW), 187
 μετρική Kerr, 143
 μετρική Reissner-Nordström, 143
 μετρική του χωρόχρονου, 139
 Μικρό Νέφος του Μαγγελάνου (Small Magellanic Cloud), 159
 Μικρά Πράσινα Ανθρωπάκια (Little Green Men, LGM), 67
 μονοξείδιο του αζώτου, 90
 μοντέλο Georgi-Glashow, 253
 μοντέλο της πύρινης σφαίρας (fireball model of GRBs), 86
 μπλάζαρς, 51
 μποζόνια Higgs, 257, 298

Ν

Νανόπουλος Δημήτριος, 212, 255
 Νευτώνεια θεωρία της βαρύτητας, 94

νεφέλωμα του Καρκίνου (crab nebula), 71
 νήματα αερίου υδρογόνου, 201
 νόμος των Hubble-Lemaître, 158, 161

Ο

Οικονόμου Ε.Ν., 225
 ολική έκλειψη Ηλίου, 149
 ομάδες γαλαξιών, 194
 ομογενές Σύμπαν, 145
 οριακό Σύμπαν, 233
 ομογενώς διαστελλόμενο Σύμπαν, 155
 όξινη βροχή, 90
 οριακά ανοικτό Σύμπαν, 229, 233
 ορίζοντας γεγονότων (event horizon), 142
 όριο Chandrasekhar, 28
 ουράνιο, 112

Π

παγκόσμιοι αριθμοί, 280
 Παλαιοζωικός αιώνας, 92
 πάλσαρ (pulsar), 68, 69, 71, 76, 78, 79
 παράγοντας κλίμακας, 153, 185
 παρατηρήσιμο Σύμπαν, 214
 περιοδικός πίνακας, 108
 περίοδος της υλοκρατίας, 185
 περίοδος της φωτοκρατίας, 185
 περίοδος των παγετώνων, 92
 Πέρμια περίοδος, 92
 πίδακες πλάσματος (jets), 86
 κοσμικός πληθωρισμός, 137
 πληθωριστική περίοδος, 213
 πλησιέστερη ευσταθής κυκλική τροχιά, 144
 πολλαπλότητα (manifold), 93
 πολυσύμπαντα (multiverses), 215, 216, 303
 πρόβλημα της κοσμολογικής σταθεράς, 217
 πρόβλημα της επιπεδότητας του Σύμπαντος, 302
 πρόβλημα της κοσμολογικής σταθεράς, 216
 πρόβλημα του ορίζοντα, 205
 πρόβλημα των δύο σωμάτων (2-body problem), 148
 πρόβλημα των μαγνητικών μονοπόλων, 219
 πρόγραμμα Manhattan, 63
 πρότυπο μοντέλο (standard model), 255, 292
 πρότυπο της σταθερής κατάστασης (steady state model), 147

πρότυπο μοντέλο των αλληλεπιδράσεων, 171
 πρωτάστρο, 57
 πυρηνosύνθεση, 108, 109, 111, 171, 173
 πυρηνosύνθεση της Μεγάλης Έκρηξης, 173
 πυρηνosύνθεση των ελαφρών πυρήνων, 169

Ρ

ραδιοαστρονομία, 36
 ραδιοεκπομπή, 60
 ραδιο-κβάζαρς, 57
 ραδιοκύματα, 34
 ραδιοσυμβολομετρία VLBI (Very Long Baseline Interferometry), 51
 ραδιοσυμβολομετρία, 151
 ραδιοτηλεσκόπιο, 67
 ραδιοχρονολόγηση με τον άνθρακα, 293
 ρωσικές φωλιασμένες ξύλινες κούκλες, 54

Σ

Σείριος Α, 24
 Σείριος Β, 22
 Σενέκας, 46
 σκέδαση Thomson, 225, 242
 σκοτεινή ενέργεια, 185, 230, 281, 296, 301
 σκοτεινή ύλη, 95, 153, 164, 195, 281, 301
 σκοτεινοί κοσμικοί αιώνες, 237, 240
 σμήνη γαλαξιών, 194
 σμήνος γαλαξιών της Παρθένου (Virgo cluster), 112, 161, 194
 σμήνος Σφαίρα (bullet cluster), 196
 σμήνος της Κόμης της Βερενίκης, 195
 σπάσιμο συμμετρίας, 253
 σταθερά της λεπτής υφής, 285
 στατικό Σύμπαν, 145, 147, 152
 στατιστική Fermi-Dirac, 27
 στίλβη των άστρων, 151
 στρώμα του όζοντος, 90
 συγχώνευση ζεύγους άστρων νετρονίων, 97
 συγχώνευση ζεύγους μελανών οπών, 97
 Σύμπαν ανοικτό, 226
 Σύμπαν επίπεδης γεωμετρίας, 205
 Σύμπαν υπερβολικής γεωμετρίας, 226, 227, 233
 Σύμπαν οριακά ανοικτό, 227
 Σύμπαν πεπερασμένο άνευ περάτων, 226
 συνήθης βαρυονική ύλη, 230

σύντομες εκλάμψεις ακτίνων-γ, 87
 συντονισμός Hubble, 176
 σφαίρα φωτονίων γύρω από μελανή οπή, 113
 σφαιρική γεωμετρία, 147
 σχετικιστικοί πίδακες (relativistic jets), 51
 σχετικιστική κίνηση πλάσματος, 118
 σχετικιστική κοσμολογία, 145
 σχηματισμός ατόμων αργύρου, 111

T

τανυστής, 138
 τανυστής καμπυλότητας, 139
 τέλεια κοσμολογική αρχή, 147
 τελευταία σταθερή τροχιά, 113
 τηλεσκόπια PROMPT, 104, 105
 κοσμολογική σταθερά Λ , 147
 Τοπική Ομάδα (Local Group), 194, 200
 Τοπικό Υπερσμήνος (Local Supercluster, LS), 195
 Τριασική περίοδος, 92
 τρίτος νόμος του Κέπλερ, 166
 Τσίγκανος Κανάρης, 13, 223

Υ

υπερβολικό Σύμπαν, 233
 υπερκαινοφανείς (supernovae), 62, 98, 110, 111, 183
 υπερκαινοφανείς τύπου Ia (type Ia supernovae), 183
 υπερμεγέθους μελανή οπή, 51, 58, 60
 υπερσμήνη (superclusters), 198
 υπερσμήνη γαλαξιών, 161, 196
 υπερσμήνος Laniakea, 196
 υπερσμήνος γαλαξιών στο Ωρολόγιον-Δίκτυο, 199
 Υπερσμήνος της Κόμης (Coma supercluster), 197
 υπερσμήνος της Παρθένου (Virgo supercluster), 196, 200
 υπέρφωτη κίνηση (superluminal motion), 51
 υπολειμματική ισχυρή δύναμη (residual strong force), 288
 ύστερη Ορδοβίσια περίοδος, 92

Φ

φαινόμενο Doppler, 115
 φάσμα βαρυτικών κυμάτων, 95

X

Χιροσίμα, 65
 χωρική καμπυλότητα, 185
 χώρος De Sitter, 153
 χώρος μηδενικής καμπυλότητας, 227, 229
 χωρόχρονος, 93
 χωρόχρονος Minkowski, 152
 χωρόχρονος de Sitter, 183

Ψ

ψευδές κενό/ψευδοκενό, 209, 212
 ψυχρή σκοτεινή ύλη, 230

A

Arp Halton, 194
 Alpher Ralph, 170
 Abell 0399, 203
 Abell 0401, 203
 Abell S1063, 167
 adaptive optics, 62
 aperture synthesis, 68

B

Buras Andrzej, 255
 Backer Don, 78
 Bondi Hermann, 170
 Bell Jocelyn, 67
 Baade Walter, 163
 Balick Bruce, 60
 BeppoSAX, 85
 BICEP, 216
 Blazar, 53
 Boltzmann, 246
 Brown, 60

C

Carter Brandon, 178
 Cannon Annie Jump, 29
 Clark Alvan Graham, 23
 Curtis H.D., 49
 Canis Major, 22
 Carl Seyfert, 47
 Centaurus A, 47
 Cerro Tololo Inter-American Observatory, 105
 Chandra, 106, 107

COBE, 137, 181, 220, 221
cocoon, 107

Compton GRO, 84

Cygnus A, 36, 47

D

Dicke Robert, 304

Descartes Rene, 178

DIRBE, 221

DMR, 221

Doppler beaming, 115

E

Ellis John, 255

Ehrenfest Paul, 299

Eddington Arthur Sir, 18

El Gordo, 195

ESO, 61

Event Horizon Telescope (EHT), 117, 118

F

Friedmann Alexander, 152

Friedman Herbert, 41

Foley Ryan, 103

Fermi, 98, 106

FIRAS, 221

Frank Paolini, 41

Friedmann, 8, 152, 170, 182, 218

Friedrich Wilhelm Bessel, 23

Fritz Zwicky, 163, 164

Fleming Williamina, 25, 28

G

Guth Alan, 209

Gursky Herbert, 41

Gaillard Mary K., 255

Giacconi Riccardo, 41

Gregory Stephen, 198

Gold Thomas, 170

Great Debate, 154

GEO, 100

Gamow George, 137, 170, 175

Georgi Howard, 254, 290

Glashow Sheldon Lee, 254, 257, 290

GN-z11, 235

GRB, 81

GUT, 204, 210, 213, 254, 259, 290

GW170817, 87, 97, 98, 99, 100, 102, 106, 109

H

Hewish Anthony, 66

Hale George, 162

Hubble Edwin, 159, 163

Hulse Russell Alan, 74

Hauser M.G., 221

Humason Milton, 162, 163

Herman Robert, 174

Hawking Stephen, 280

Herschel William, 21

Harvard Classification Scheme, 29

Harvard Computers, 28

Hercules A, 47

High-z Supernova Team, 183

Hipparcos Catalogue, 31

Hoyle Fred, 168, 170, 176, 236

Hubble, 106

Hubble 5, 21

I

IC 3568, 20

inflaton, 212, 257

J

Jansky Karl J, 34, 60

jet, 99, 107, 117, 118

Jodrell Bank, 70

K

Keck II telescope, 85

kilonova, 85, 99, 109, 179

L

Lemaître Georges, 154, 156, 245, 302

Linde Andrei, 209

Leavitt Henrietta Swan, 30, 159

Las Cumbres Observatory, 110

Levi-Civita, 138

LIGO, 95, 97, 98, 99, 100, 103

Luminous Red Galaxies, 44

M

Mather George, 223

Maury Antonia, 30

M31, 59, 85

M87, 49

MASERS υδρογόνου, 116

millisecond pulsar, 72, 79

N

NGC 3918, 20

NGC 4151, 59

NGC 4993, 102, 103

NGC 5307, 21

NGC 6826, 20

NGC 7009, 21

Nicholson, 163

novae, 109

P

Paczynski Bohdan, 84

Penzias Arno, 179

Pickering Edward Charles, 25

Pati Jogesh, 255

Parkes Observatory, 41

Penzias & Wilson, 137, 220

Planck, 224

PROMPT, 107

PSR B0329+54, 70

PSR B1913+16, 74, 95

PSR B1919+21, 68

PSR B1937+21, 79

PSR J1748–2446ad, 73, 79, 80

R

Rossi Bruno, 41

Reber Grote, 35

Russell Henry Norris, 25

Ryle Martin, 68

Röntgen Wilhelm, 41

ringdown, 96

S

Salam Abdus, 255, 257

Salpeter Edwin, 236

Sauty, Christophe, 13

Schmidt Maarten, 39

Schwarzschild Karl, 141

Sco X-1, 41

Sgr A*, 60, 62

Shapley Harlow, 199

SkyLab, 42

Slipher, Vesto, 158

SN 1604, 63

SN 1994D, 63

SN 2015L, 64

Smoot George, 223

Sommerfeld Arnold, 285

SSS17a, 103

Steinhardt Paul, 209

Supernova Cosmology Project, 183

Swope telescope (1 Meter 2 Hemisphere),
102, 103, 107

supernova, 64, 110

T

Taylor Joseph Hooton Jr., 74

Thompson Laird, 198

Terzan 5, 79

The Primeval Atom, 169

U

UHURU, 43

V

Very Large Array, 50

Virgo, 97, 99

Virgo Cluster, 49

VLA, 106, 107

VLBA, 60

VLBI, 107, 116

VLT, 61

Vulpecula, 68

W

Watt, 65

Wheeler John, 143

Wilson Robert, 179

Weinberg Steven, 257

WMAP, 224, 227

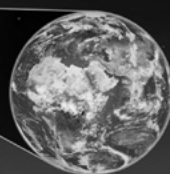
Z

Zel'dovich Yakov, 217, 236

ΚΥΚΛΟΦΟΡΕΙ ΕΠΙΣΗΣ

Κανάρης Τσίγκανος

Ομότιμος Καθηγητής του Πανεπιστημίου Αθηνών



Ένα γαλάζιο πετράδι στο διάστημα

100 ΧΡΟΝΙΑ ΣΥΝΑΡΠΑΣΤΙΚΩΝ ΑΝΑΚΑΛΥΨΕΩΝ
ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΗΣ ΓΗΣ ΜΑΣ ΣΤΟ ΣΥΜΠΑΝ

 ΕΚΔΟΣΕΙΣ
ΖΗΤΗ