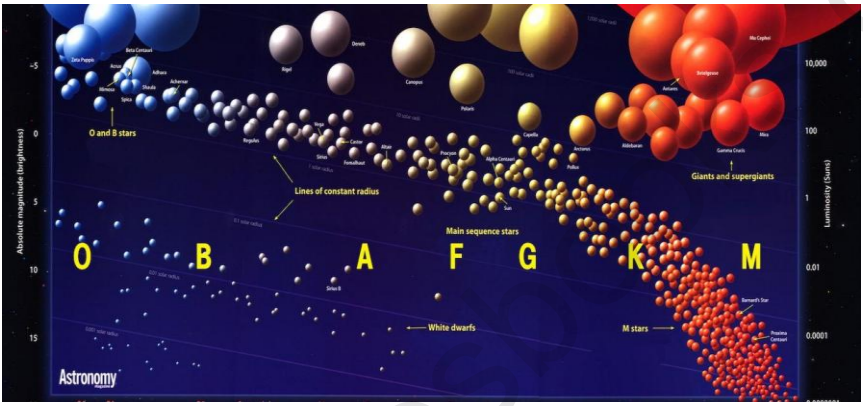
Ομάδα Αστρικής Φασματοσκοπίας
Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών



Εισαγωγή στην Αστρική Φασματοσκοπία

Μέρος Ι: Από την Κλασσική Αστρονομία στην Σύγχρονη Αστροφυσική

Δρ Μάνος Δανέζης
Δρ Ευαγγελία Λύρατζη
Αστροφυσικοί

ISBN: 978-960-531-427-9

Εκδόσεις Δίαυλος
Αθήνα 2019

www.diavlos.gr

Πρόλογος

*Όπως είναι πλέον γνωστό ότι η κλασσική **«Αστρονομία»** είναι μια από τις αρχαιότερες επιστήμες και ως αντικείμενό της είχε και έχει την μελέτη της **θέσης** και της **κίνησης** των ουρανίων σωμάτων.*

*Η **Αστροφυσική** αντίθετα έχει ως αντικείμενό της την μελέτη **των φυσικών ιδιοτήτων και συνθηκών** που επικρατούν στις περιοχές τεραστίων συγκεντρώσεων Ύλης και Ενέργειας μέσα στο Σύμπαν.*

Γενικότερα όμως η αποστολή της Αστροφυσικής είναι πολύ πιο ευρύτερη από το να μελετάμε απλά τα φυσικά φαινόμενα τα οποία εξελίσσονται στο περιβάλλον των ουράνιων αντικειμένων.

Όπως γνωρίζουμε η πειραματική Φυσική περιγράφει την ισχύ των φυσικών νόμων όπως αυτοί εξελίσσονται κάτω από κάποιες εργαστηριακές συνθήκες πχ πιέσεων, θερμοκρασιών. μαγνητικών και ηλεκτρικών πεδίων, κ.α. οι οποίες είναι δυνατόν να δημιουργηθούν από τον άνθρωπο μέσα σε ένα γήινο εργαστήριο.

Το ερώτημα όμως είναι: «ισχύουν όμως αυτά τα αποτελέσματα κάτω από οποιεσδήποτε ακραίες τιμές οι οποίες δεν είναι δυνατόν να παραχθούν σε ένα εργαστήριο; Αν όχι ποιές είναι οι νέες εκφράσεις ή επεκτάσεις των φυσικών νόμων που γνωρίζαμε μέχρι σήμερα;

Την απάντηση αυτή προσπαθεί να δώσει η Αστροφυσική μέσω της μελέτης των περιοχών συγκέντρωσης τεράστιων πυκνοτήτων Ύλης και Ενέργειας μέσα στο Σύμπαν όπου επικρατούν συνθήκες οι οποίες δεν είναι δυνατόν να παραχθούν μέσα στα ανθρώπινα εργαστήρια.

Βασικό εργαλείο της Αστροφυσικής προκειμένου να επιτύχει όλα τα προηγούμενα είναι η Φασματοσκοπία, δηλαδή η ανάλυση και μελέτη των φασμάτων των ουράνιων αντικειμένων και γεγονότων.

Όπως είναι προφανές η Φασματοσκοπία δεν αποτελεί ένα από τα πολλά επί μέρους εξειδικευμένα κεφάλαιο της Αστροφυσικής το

www.diavgeia.gr

οποίο μελετάει κάποια αστρικά αντικείμενα, αλλά μια τεχνική η οποία εφαρμόζεται προκειμένου να μελετήσουμε όλα τα αστρικά και κοσμολογικά γεγονότα και φαινόμενα μέσα στο Σύμπαν.

Τελικά όμως αυτό το οποίο βασικά επιτυγχάνουμε (στο μέτρο του δυνατού, είναι η διερεύνηση της εξέλιξης των γνωστών φυσικών μας νόμων κάτω από ακραίες εργαστηριακές συνθήκες που είναι αδύνατον να παραχθούν σε γήινα εργαστήρια, αλλά και η ανακάλυψη νέων οι οποίες είναι αδύνατον να παρατηρηθούν σε γήινα επίπεδα εργαστηριακών φυσικών συνθηκών.

Μια τεχνική όμως τόσο εξελιγμένη στηρίζεται τόσο σε μια βασική, πειραματικά αποδεδειγμένη θεωρητική βάση, αλλά και σε μια τεχνική μέθοδο οποία μπορεί μεν να αρχίζει από απλούς θεωρητικούς κανόνες, αλλά καταλήγει σε πολύπλοκες επιστημονικές αναλύσεις, μαθηματικούς αλγορίθμους, βαθιές γνώσεις πληροφορικής και λογισμικών συστημάτων.

Όλα τα προηγούμενα οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η φασματοσκοπία για όσους θέλουν να την υπηρετήσουν δεν αποτελεί ένα επιπόλαιο «μάζεμα» επιμέρους φυσικών γνώσεων οι οποίες διδάσκονται σε διάφορά μαθήματα των Τμημάτων Φυσικής, αλλά μια συγκροτημένη μαθησιακή διαδικασία με καθορισμένη επιστημονικά ύλη, οργανωμένη σε εξελισσόμενα μαθησιακά επίπεδα.

Μια πρώτη προσπάθεια με αυτό το στόχο έγινε εδώ και πολλά χρόνια από τους Δρς Μάνο Δανέζη και Στράτο Θεοδοσίου στο πλάισο του Πανεπιστημιακού συγγράματος «Το Σύμπαν που αγάπησα –Εισαγωγή στην Αστροφυσική» (εκδόσεις Δίαυλος Αθήνα…).

Δυστυχώς το αναλυτικό πρόγραμμα μαθημάτων δεν περιείχε όλα όσα θα θέλαμε με αποτέλεσμα η προσπάθειά μας να μείνει ατελής.

Λόγω όλων των προηγουμένων σήμερα, η Ερευνητική Ομάδα Αστρικής Φασματοσκοπία του Πανεπιστημίου Αθηνών, μετά από

www.mathbooks.gr

40 χρόνια λειτουργίας, θεώρησε υποχρέωση της να παρουσιάσει μια σειρά βιβλίων, γραμμένων από μέλη της ομάδας, τα οποία πιστεύουν ότι, πληρούν (στο μέτρο του δυνατού) τις προηγούμενες αρχές και θα βοηθήσουν όσους ενδιαφέρονται να ασχοληθούν με την σύγχρονη Αστρική Φασματοσκοπία . Η σειρά αυτών των βιβλίων έχει τον γενικό τίτλο ***«Εισαγωγή στην Αστρική Φασματοσκοπία»***

Τα βιβλία αυτά είναι «πειραματικά» και σε πολύ μικρό διάστημα, μέσα από μια μεγαλύτερη προσπάθεια επανεξέτασης και βελτίωσης, θα εμπλουτιστούν σε περιεχόμενο και θα παρουσιαστούν με μια πιο πλήρη και ολοκληρωμένημορφή.

Την προσπάθειά μας αυτή στήριξε και στηρίζει ο Εκδοτικός Οίκος ***«Δίαυλος»*** *(https://www.diavlos-books.gr/)*

ο οποίος ανέλαβε την εκδοσή τους και την ***δωρεάν διαδυκτιακή διάθεσή τους*** *μέσω της ιστοσελίδας του (https://www.diavlos-books.gr/categories/1075/dorean-lipsifree-download-).*

Στο σημείο αυτό θέλουμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον εκδότη μας ***Μανώλη Δελληγιαννάκη*** *για την άμεση ανταπόκρισή του στην πρόταση που του κάναμε, και για την συνεχή ηθική και φιλική συνδρομή του σε κάθε πρωτοβουλία μας.*

Το βιβλίο που σήμερα παρουσιάζουμε με τίτλο «Εισαγωγή στην Αστρική Φασματοσκοπία - Μέρος Ι: Από την Κλασσική Αστρονομίαστην Σύγχρονη Αστροφυσική» είναι το πρώτο αυτής της σειράς και απευθύνεται σχεδόν σε όλους τους αναγνώστε που θέλουν να μάθουν τις βασικές θεωρητικές αρχές της Φασματοσκοπίας.

Τα ήδη εκδοθέντα βιβλία της σειράς είναι τα επόμενα:

Δρ Μάνος Δανέζης - Γεωργία Σταματογιαννάκη: «Εισαγωγή στην Αστρική Φασματοσκοπία – Μέρος ΙΙ - Σημειώσεις στην Θεωρία Διάδοση Ακτινοβολίας στις Αστρικές Ατμόσφαιρες»

www.diavlos-books.gr

MSc Δημήτρης Σταθόπουλος: Εισαγωγή στην Αστρική Φασματοσκοπία - Μέρος III: Διάδοση Ακτινοβολίας σε περιοχές ιονισμένου υδρογόνου (HII)

Δρ Ε. Λύρατζη και Δρ Α. Αντωνίου (Αστροφυσικοί): «Εισαγωγή στην Αστρική Φασματοσκοπία - Μέρος IV: Μελετώντας τα φάσματα των θερμών αστέρων εκπομπής προγενέστερων φασματικών τύπων»

MSc Δημήτρης Σταθόπουλος: «Εισαγωγή στην Αστρική Φασματοσκοπία - Μέρος V: Εισαγωγή στην Φυσική των Quasars»

Για την ηλεκτρονική δωρεάν λήψη εξειδικευμένων γνώσεων αλλά και του λογισμικού ASTA το οποίο παρήχθει από την Ομάδα Φασματοσκοπίας του Πανεπιστημίου Αθηνών και είναι το μοναδικό το οποίο έχει την δυνατότητα ανάλυσης και μελέτης πολύπλοκών (όσο και απλών) φασματικών γραμμών μπορείτε να ανατρέξετε στην ιστοσελίδα της ομάδας μας:
http://www.spectroscopyteam.edu.gr/index.php/educational-material
Το υλικό αυτό θα συμπεριληφθεί σε επόμενο βιβλίο μας στην αγγλική γλώσσα πού σύντομα.θα παρουσιαστεί

Οι συγγραφείς

www.diavasbooks.gr

Περιεχόμενα

Πρόλογος 2

Φυσική των αστεριών 12

Η γέννηση της Αστροφυσικής 13

Το γραμμικό φάσμα απορρόφησης του Ήλιου 18

Διαβάζοντας την ορατή περιοχή του φάσματος του λευκού φωτός 22

Τύποι Φασμάτων 24

Το φαινόμενο Doppler-Fizeau 28

Η φασματική μετατόπιση 29

Η σχετικιστική μετατόπιση Doppler 33

Η βαρυτική μετατόπιση 34

Τα μελανά σώματα των αστεριών 37

Η ακτινοβολία των αστεριών 41

Τρεις βασικοί νόμοι της Φυσικής 43

Νόμος του Wien 44

Νόμος των Stefan-Boltzmann* 46

Εφαρμογή των τριών νόμων στα αστρικά φάσματα 48

Ενεργός θερμοκρασία 50

Ορισμός της έννοιας «θερμοκρασία» 50

Πολλές θερμοκρασίες 51

Η Ενεργός Θερμοκρασία ενός άστρου

Μέθοδοι υπολογισμού των ενεργών θερμοκρασιών 53

1. Άμεσος υπολογισμός 53

2. Έμμεσος υπολογισμός 53

Ορισμός αστρικής ατμόσφαιρας 57

Φασματική ταξινόμηση των άστρων 59

www.diavlosbooks.gr

Η φασματική ταξινόμηση του Harvard 62
Φασματική ταξινόμηση του Yerkes 71
Φασματικά προθέματα 74

Αστέρες προγενέστερων φασματικών τύπων 80
Ονομασία 80
Τρόποι παρατήρησης 84
Κατάταξη των αστέρων προγενέστερων φασματικών τύπων 85
Κατανομή των αστέρων προγενέστερων φασματικών τύπων στον χώρο 86
Ταξινόμηση και περιγραφή του φάσματός τους 87
Γενικά συμπεράσματα για τους αστέρες φασματικών τύπων Ο και Β 88
Αστέρες τύπου Ο 89
Αστέρες φασματικού τύπου Β 92
Το γραμμικό φάσμα των αστέρων Be στην υπεριώδη (UV) φασματική περιοχή. 94
Το Διάγραμμα Hertzsprung-Russell 98
Γίγαντες αστέρες 104
Υπεργίγαντες αστέρες. 104
Λευκοί Νάνοι 105
Η λογική του διαγράμματος H-R 107

Το Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και η μελέτη του 110
Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα 111
Ηλεκτρομαγνητική Θεωρία 111
1. Ραδιοφωνική περιοχή, 114
2. Υπέρυθρη περιοχή 114
3. Ορατή περιοχή 115

www.diavlospooks.gr

4. Υπεριώδης περιοχή 116
5. Περιοχή ακτίνων Χ 116
6. Περιοχή ακτίνων γ 116
Το Hubble Space Telescope .117

Τα μεγάλα επίγεια τηλεσκόπια 123
1.Bolshoi Teleskop Azimutalnyi 125
2.Το IRTF (Infrared Telescope Facility)
της NASA. .129
3.Το JCMT (James C Maxwell Telescope)
των 2,2 m. 129
4.Το CSO-Observatory .130
5.Ο Γολιάθ των σύγχρονων τηλεσκοπίων
Keck 1 130
Η προσπάθεια συνεχίζεται 136

Το αόρατο Σύμπαν 137
Ραδιοαστρονομία 139
Ραδιοτηλεσκόπια .143
Σταθερά ραδιοτηλεσκόπια 145
Ραδιοτηλεσκόπια με κατευθυνόμενη κεραία 146
Το διαστημικό ραδιοτηλεσκόπιο Muses-B 148
Αστρονομία υπερύθρου 149
Αστρονομία υπεριώδους 155
Αστρονομία ακτίνων Χ 160
Το παρατηρητήριο Αϊνστάιν και
ο ROSAT 165
Αστρονομία ακτίνων γ 165

Η κβαντική φύση του φωτός 172
Η Θεωρία των Κβάντα 173
Η φωτοηλεκτρική εξίσωση 176

www.ziavlosbooks.gr

Η κβαντική συμπεριφορά της ύλης 177

Η Φασματοσκοπία ως μέθοδος ανάλυσης και μελέτης του φωτός 182
Εισαγωγή 183
Η προέλευση των αστρικών φασμάτων 184
Οι νόμοι του Kirchhoff 187
Φασματοσκοπική ανάλυση 191
Αστρονομικος Φασματογράφος 192
Λειτουργία Αστρονομικού φασματογράφου 193

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ 198

Παράρτημα Ι :Στοιχειώδεις γνώσεις Γεωμετρικής Οπτικής 199
Η αρχή του Ήρωνα 200
Η αρχή του Fermat 201
Ανάκλαση του φωτός 202
Ανάκλαση επί κοίλου σφαιρικού κατόπτρου 204
Ανάκλαση σε κυρτό σφαιρικό κάτοπτρο 206
Διάχυση του φωτός 207
Διάθλαση του φωτός 208
Ορική γωνία 210
Ο Νόμος Snell 211
Ολική ανάκλαση 211
Διάδοση του φωτός μέσα από πρίσμα 212
Πρίσμα ολικής ανάκλασης ή αναστροφής 214
Ανάλυση του λευκού φωτός 215
Φακοί 216
Συγκλίνοντες φακοί 218
Αποκλίνοντες φακοί 220

www.diavlosbooks.gr

Παράρτημα ΙΙ
Κατηγορίες αστρονομικών οργάνων 223
Κατηγορίες αστρονομικών οργάνων 223
Χαρακτηριστικά τηλεσκοπίων 223
Διοπτρικά τηλεσκόπια 225
Κατοπτρικά τηλεσκόπια 227
Τηλεσκόπιο Newton 227
Τηλεσκόπιο Cassegrain 227
Τηλεσκόπιο Coudé 229
Τηλεσκόπιο Schmith 229
Συστήματα στήριξης τηλεσκοπίων 231
Η Αλταζιμουθιακή στήριξη 232
Η Ισημερινή στήριξη 232
Ραδιοτηλεσκόπια 233
Σταθερά ραδιοτηλεσκόπια 233
Ραδιοτηλεσκόπια με κατευθυνόμενη κεραία 234

Παράρτημα ΙΙΙ
Στοιχειώδεις αστρονομικές γνώσεις 236
Ουράνια σφαίρα 237
Γήινες γεωγραφικές συντεταγμένες 238
Σύστημα Οριζόντιων Συντεταγμένων Σ (Α, υ) 241
Σύστημα Ισημερινών Συντεταγμένων Σ (Η, δ) 243
Εκλειπτική 245
Σύστημα ουρανογραφικών συντεταγμένων Σ (α, δ) 248
Σύστημα εκλειπτικών συντεταγμένων Σ (λ,β) 248
Μετατροπές αστρονομικών συντεταγμένων 250

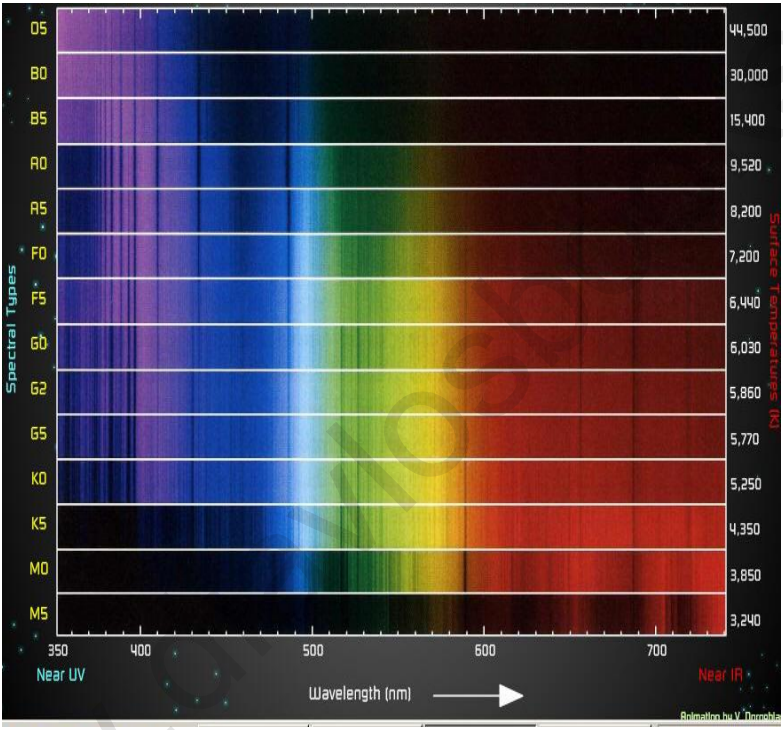
Παραρτημα IV
Σύνοψη των συστημάτων χρόνου 252
Σύνοψη των συστημάτων χρόνου\ 253

www.ziaviosbooks.gr

Αληθινός ηλιακός χρόνος 253
Μέσος ηλιακός χρόνος 254
Χρόνος των ατράκτων 255
Παγκόσμιος Χρόνος 256
Μέσος ηλιακός αστρονομικός χρόνος στο Greenwich 257
Χρόνος των Εφημερίδων 258
Ατομικός Χρόνος 259
Συντονισμένος Παγκόσμιος Χρόνος 259
Αστρικός Χρόνος 260

www.diavlosbooks.gr

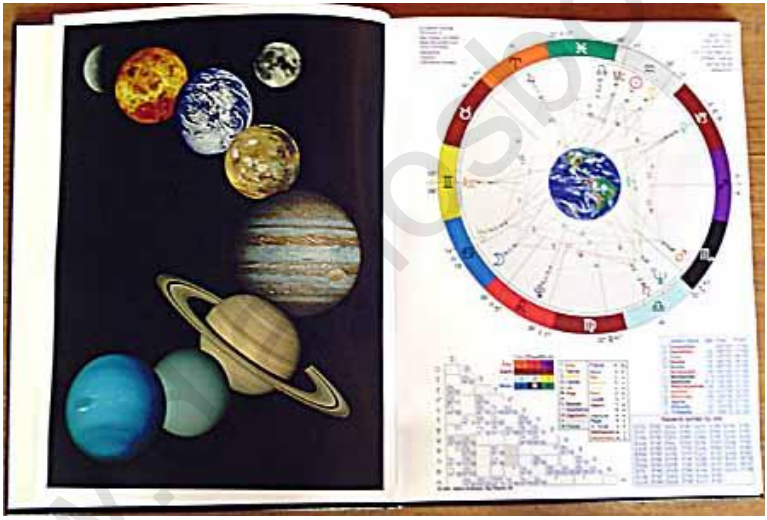
*Φυσική των αστεριών**



*Βασική πηγή αυτού του κεφαλαίου είναι το βιβλίο των Μάνου Δανέζης και Στράτου Θεοδοσίου: *«Το Σύμπαν που αγάπησα – Εισαγωγή στην Αστροφυσική»*, Εκδόσεις Δίαυλος, Αθήνα 1998

Η γέννηση της Αστροφυσικής

Ένα γεγονός που χαρακτήριζε τους αστρονόμους-παρατηρητές του 18ου αιώνα ήταν η έντονη αδιαφορία τους για τη μελέτη του φωτός που ερχόταν από τα μακρινά άστρα. Αυτό οφειλόταν βέβαια στο ότι δεν γνώριζαν ούτε τι είδους πληροφορίες μπορούσε να δώσει το φως των ουρανίων σωμάτων, ούτε και με ποιο τρόπο θα έπρεπε να το επεξεργαστούν. Έτσι, είχαν ως αγαπημένη τους ενασχόληση την απλή παρατήρηση του ουρανού και αυτό με μοναδικό στόχο τη μαθηματική μελέτη των κινήσεων και όχι της φύσης των ουρανίων σωμάτων.



Εκείνο όμως που πραγματικά γοήτευε τους αστρονόμους, της τότε εποχής, ήταν η μελέτη των πλανητών του ηλιακού μας συστήματος. Τόσο μεγάλο ήταν το πάθος της μελέτης των κοντινών γειτόνων της Γης μας, ώστε —έχοντας παραμελήσει εντελώς τη μελέτη όλων των άλλων ουρανίων σωμάτων—

www.astrospace.gr

ανέδειξαν τους πλανήτες ως το μοναδικό σχεδόν αντικείμενο των αστρονομικών παρατηρήσεών τους.
Εκείνο όμως που πραγματικά γοήτευε τους αστρονόμους, τις παλαιότερες εποχές, ήταν η μελέτη των πλανητών του ηλιακού μας συστήματος, μια μελέτη στενά συνδεδεμένη με την Αστρολογία



Ο Ισαάκ Νεύτων (Isaac Newton, 1642-1727)
ανακαλύπτει το «φάσμα» του Ηλιακού φωτός

Όλα τα προηγούμενα ίσως φαντάζουν παράδοξα σήμερα, αν αναλογιστούμε ότι ήδη από το 1666 ο *Ισαάκ Νεύτων (Isaac Newton, 1642-1727),* ανοίγοντας μια μικρή στρογγυλή τρύπα στο παράθυρο του γραφείου του και αφήνοντας τη δέσμη των φωτεινών ακτίνων του Ήλιου να περάσει μέσα από ένα πρίσμα, παρατήρησε ότι στον απέναντι τοίχο εμφανίστηκε μια ταινία από χρώματα που επικάλυπταν ελαφρά το ένα το άλλο.
Η εντυπωσιακή αυτή διαδοχή των χρωμάτων κόκκινου, πορτοκαλί, κίτρινου, πράσινου, μπλε και ιώδους ονομάστηκε από τον Νεύτωνα «*spectrum»,* που στα ελληνικά σημαίνει «φάσμα», «είδωλο» ή «οπτασία».
Συνεπώς, τα πειράματα του Νεύτωνα στον τομέα της Οπτικής έδειξαν ότι το λευκό ηλιακό φως ήταν σύνθετο και με ένα

www.diavlosbooks.gr

πρίσμα αναλυόταν σε έξι απλά χρώματα από το κόκκινο ως το ιώδες.



Joseph von Fraunhofer, 1787-1826

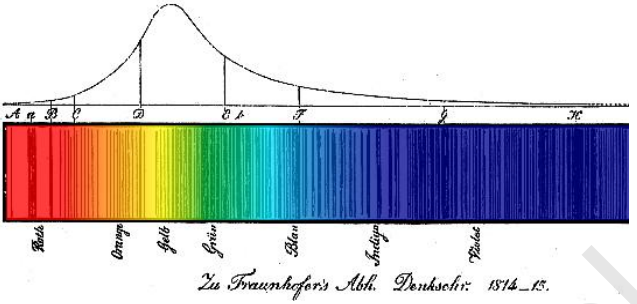
Αυτή όμως η ανακάλυψη του Νεύτωνα, που αποκάλυπτε το πιο ουσιαστικό μυστικό του φωτός, δεν χρησιμοποιήθηκε αμέσως από τους αστρονόμους της εποχής.
Έπρεπε να περάσουν 150 σχεδόν χρόνια και να φτάσουμε στο 1814, ώστε το φωτεινό μυαλό τού Γερμανού φυσικού και οπτικού *Γιόζεφ φον Φραουνχόφερ (Joseph von Fraunhofer,*

1787-1826) να συνδέσει «το φάσμα» με τον μαγικό κόσμο των άστρων. Ο περίφημος Γερμανός φυσικός, χρησιμοποιώντας το τηλεσκόπιο που έφτιαξε μόνος του, μελέτησε με προσοχή το φάσμα του Ήλιου που έμπαινε στο γραφείο του —από μια λεπτή σχισμή του παραθύρου του— και το οποίο, αφού αναλυόταν από ένα πρίσμα που είχε στερεώσει μπροστά από το τηλεσκόπιό του, σχηματιζόταν στον προσοφθάλμιο φακό του. Η έκπληξή του όμως ήταν μεγάλη όταν παρατήρησε ότι το πολύχρωμο είδωλο του φάσματος διεκόπτετο από ένα πλήθος σκοτεινών γραμμών, τις οποίες πιθανότατα ο Νεύτωνας δεν είχε παρατηρήσει, επειδή αυτές δεν είχαν σχηματιστεί κατά τη διάρκεια των παρατηρήσεών του, διότι το φως του Ήλιου κατά τη διάρκεια του πειράματος έμπαινε στο δωμάτιο του Νεύτωνα όχι από μια στενή σχισμή, αλλά από μια στρογγυλή τρύπα

Μελετώντας για πολύ καιρό το εκπληκτικό αυτό φαινόμενο, ο Φραουνχόφερ, διαπίστωσε ότι το πλέγμα των σκοτεινών αυτών γραμμών δεν οφειλόταν ούτε σε σφάλμα της παρατήρησής του, ούτε σε ατέλειες των επιστημονικών οργάνων. Ως εκ τούτου ήταν βέβαιος πλέον ότι οι γραμμές αυτές του φάσματος είχαν κάποια φυσική σημασία και ότι ήταν στενά συνδεδεμένες με τη φυσική κατάσταση του Ήλιου. Αφού μελέτησε περίπου 700 σκοτεινές ηλιακές γραμμές δίνοντάς τους αλφαβητικές ονομασίες, έστρεψε το τηλεσκόπιό του προς τους πλανήτες, το αντικείμενο του έρωτα των αστρονόμων εκείνης της περιόδου.

Τα αποτελέσματα υπήρξαν εκπληκτικά. Οι παρατηρήσεις του έδειξαν ότι τα φάσματα των πλανητών παρουσίαζαν ακριβώς τις ίδιες σκοτεινές γραμμές που παρουσίαζε το φάσμα του Ήλιου, και οι οποίες σήμερα ονομάζονται προς τιμήν του *«γραμμές Φραουνχόφερ»*.

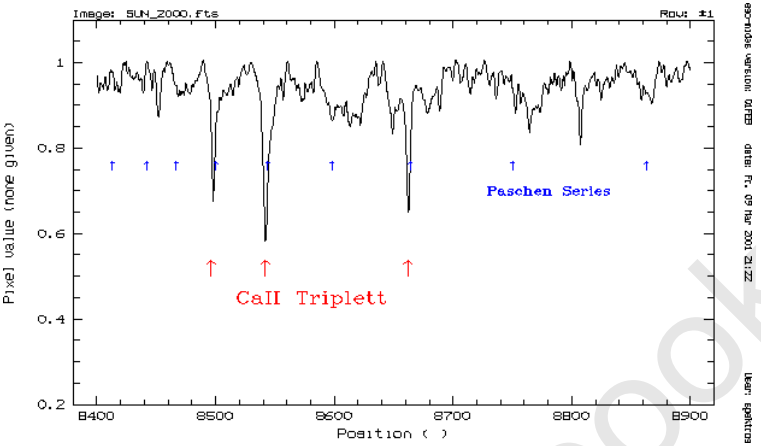
www.diavlos.gr



Το Ηλιακό φάσμα και ο«γραμμές Φραουνχόφερ».

Άμεσο συμπέρασμα της παρατήρησής του αυτής ήταν ότι οι πλανήτες δεν έχουν δικό τους φως, αλλά ανακλούν το φως του Ήλιου που πέφτει επάνω τους. Επηρεασμένος από αυτή την ανακάλυψη ο Φραουνχόφερ έστρεψε το τηλεσκόπιό του προς τα μακρινά αστέρια, προκειμένου να καταγράψει τα φάσματά τους. Αρχικά παρατήρησε το φάσμα του Σείριου (α CMa), του λαμπρότερου απλανή αστέρα και στη συνέχεια τα φάσματα άλλων λαμπρών αστεριών. Μελετώντας όλα αυτά τα φάσματα διαπίστωσε ότι οι σκοτεινές γραμμές όχι μόνον διέφεραν από αυτές του Ήλιου, αλλά διέφεραν και μεταξύ τους, σαν να δήλωναν ότι κάθε αστέρι είχε ένα προσωπικό φασματικό αποτύπωμα! Εκείνη τη στιγμή ο ευφυής Γερμανός επιστήμονας συνέλαβε την ιδέα ότι οι σκοτεινές γραμμές οφείλονταν σε κάτι που εξαφανίζει από το φάσμα ορισμένα φωτεινά τμήματά του.
Η έννοια της φασματικής γραμμής απορρόφησης είχε γεννηθεί!
Ο μεγάλος όμως φυσικός δεν κατόρθωσε να ολοκληρώσει τις έρευνές του, αφού μόλις τριάντα εννέα ετών, το 1826, η φυματίωση διέκοψε τη λαμπρή επιστημονική του πορεία.

www.openbooks.gr



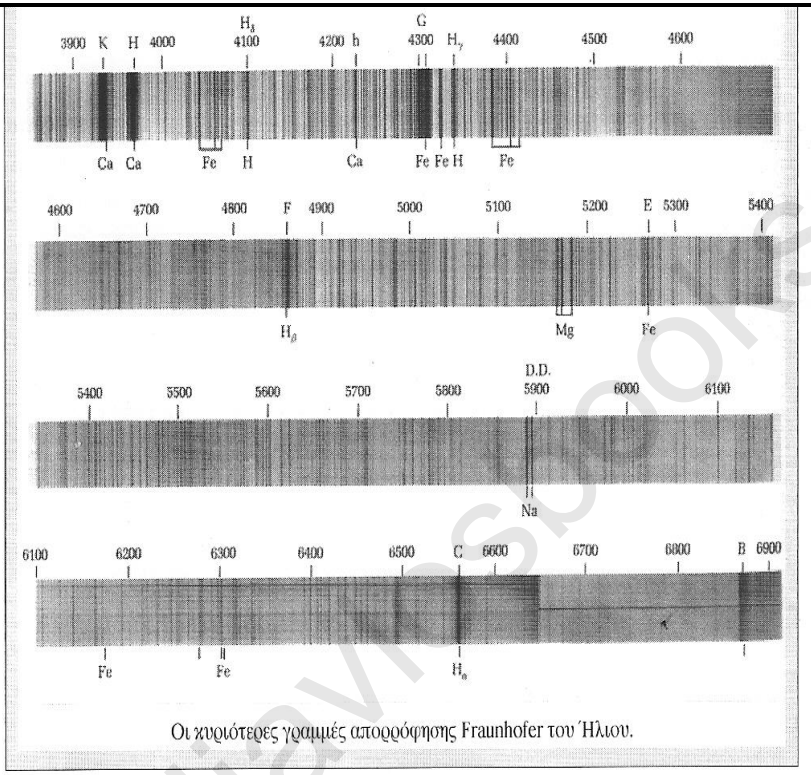
Ένα μέρος του φάσματος του Σείριου.

Το γραμμικό φάσμα απορρόφησης του Ήλιου

Το φάσμα του ορατού φωτός που συλλέγουμε από τα αστέρια εμφανίζει αφ' ενός μεν μια συνεχή μεταβολή χρώματος πάνω στην πλάκα —το ονομαζόμενο συνεχές φάσμα— αφ' ετέρου, δε, παρουσιάζει κάποιες σκοτεινές φασματικές γραμμές σε καθορισμένα μήκη κύματος. Το φάσμα αυτό καλείται «γραμμικό φάσμα απορρόφησης». Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το γραμμικό φάσμα απορρόφησης Fraunhofer του Ήλιου.

Γενικά, το αστρικό φάσμα διακόπτεται από σκοτεινές γραμμές και όχι τελείες εξαιτίας της παλινδρομικής κίνησης του αστρικού ειδώλου μπροστά από τη σχισμή του φασματογράφου.

www.diavlosbooks.gr



Οι κυριότερες γραμμές απορρόφησης Fraunhofer του Ήλιου

.

Αντίθετα με τον Φραουνχόφερ, οι συμπατριώτες του *Γκουστάβ Ρόμπερτ Κίρχοφ (Gustav Robert Kirchhoff, 1824-1887)* και *Ρόμπερτ Βίλχελμ Μπούνσεν (Robert Wilhelm Bunsen, 1811-1899)* εργαζόμενοι στα εργαστήρια του Πανεπιστημίου της Χαϊλδεμβέργης ασχολήθηκαν με τη μελέτη των λαμπρών έγχρωμων γραμμών που εμφανίζονταν στα φάσματα στοιχείων, όταν αυτά καίγονταν μετατρεπόμενα σε αέρια.

www.diavlesbooks.gr





Gustav Robert Kirchhoff, 1824-1887

Robert Wilhelm Bunsen, 1811-1899

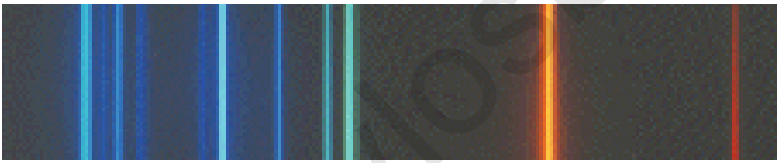
Με έκπληξη διαπίστωσαν ότι κάθε χημικό στοιχείο έδινε μια μοναδική διάταξη φωτεινών γραμμών που έτσι το διέκρινε και το διαχώριζε από τ' άλλα. Το μεγάλο βήμα είχε γίνει

Ο Κίρχοφ (G.R. Kirchhoff) εφαρμόζοντας τα αποτελέσματα των ερευνών του στα φάσματα του Ήλιου και των αστεριών, διαπίστωσε —για πρώτη φορά— ότι οι σκοτεινές φασματικές γραμμές που παρατήρησε ο Φραουνχόφερ οφείλονταν στην απορρόφηση του φωτός του Ήλιου και των αστέρων από τα ψυχρά αέρια που τους περιβάλλουν.

Διαπίστωσε ακόμα, ότι τα αέρια αυτά έχουν τη δυνατότητα να απορροφούν εκείνες ακριβώς τις ακτινοβολίες του Ήλιου ή των άστρων τις οποίες μπορούν να εκπέμψουν —αν βέβαια διεγερθούν σε ακτινοβολία. Με τον τρόπο αυτόν αποκρυπτογράφησε το φάσμα του Ήλιου, ανακαλύπτοντας σ' αυτό την ύπαρξη όχι μόνον νατρίου, αλλά και σιδήρου,

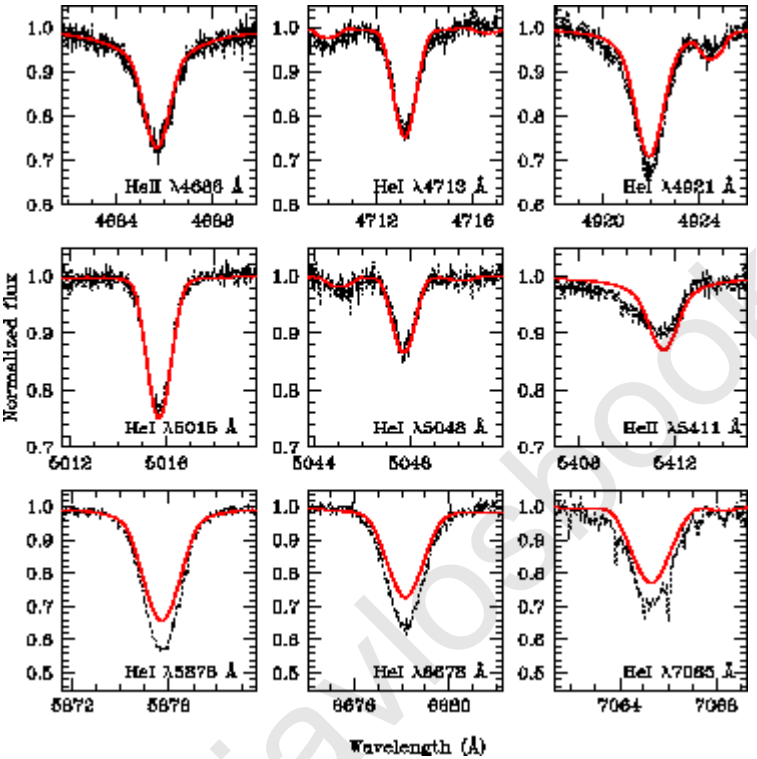
www.diavlosbooks.gr

ασβεστίου, μαγνησίου, νικελίου και χρωμίου. Στη συνέχεια μελέτησε τα φάσματα και άλλων αστεριών.
Λίγα χρόνια αργότερα οι αστρονόμοι χρησιμοποιώντας τις νέες αυτές μεθόδους παρατήρησης, ανακάλυψαν στον Ήλιο ένα νέο στοιχείο που δεν είχε ακόμα ανακαλυφθεί στη Γη. Το νέο αυτό στοιχείο ονομάστηκε ήλιον *(helium)* —επειδή ακριβώς ανακαλύφθηκε στον Ήλιο— και η ανακάλυψή του σηματοδότησε τη γέννηση μιας νέας εποχής στην Αστρονομία, μιας εποχής που οι αστρονόμοι δεν θα εξέταζαν, όπως συνέβαινε παλαιότερα, μόνο την κίνηση και τη θέση των ουρανίων σωμάτων, αλλά θα εξέταζαν κυρίως τη φύση και τις ιδιότητές τους.
Η σύγχρονη Αστροφυσική είχε γεννηθεί.



Το φάσμα του Ηλίου

www.diavlosbooks.gr



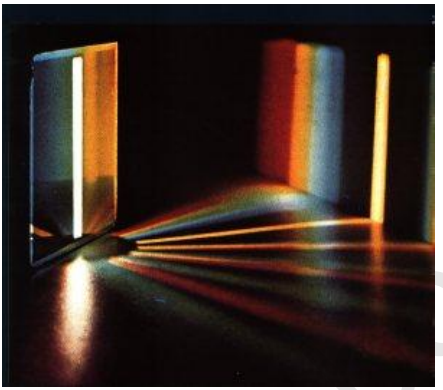
Μερικές από τις φασματικές γραμμές απορρόφησης του Ηλίου (Helium). Οι κόκκινες γραμμές προκύπτουν από θεωρητικά μοντέλα που προσπθούν να τις αναπαραγάγουν

Διαβάζοντας την ορατή περιοχή του φάσματος του λευκού φωτός

Είναι γνωστό, πλέον, ότι αν αφήσουμε να πέσει μια ακτίνα λευκού φωτός, όπως είναι το φως του Ήλιου, πάνω σ' ένα κρυσταλλικό πρίσμα, η ακτίνα αυτή θα εκτραπεί προς τη βάση του πρίσματος, ενώ συγχρόνως θα αναλυθεί σ' ένα πλήθος από έγχρωμες ακτίνες. Αν τώρα στην πορεία των εξερχόμενων ακτίνων παρεμβάλουμε ένα πέτασμα, θα σχηματιστεί πάνω του

www.diavlosbooks.gr

μία συνεχής έγχρωμη ταινία που ονομάζεται ορατό φάσμα του λευκού φωτός



Ανάλυση του φωτός από πρίσμα

Το φαινόμενο αυτό δημιουργείται επειδή ακτινοβολίες διαφορετικού δείκτη διάθλασης παρουσιάζουν διαφορετική γωνία εκτροπής (διάθλασης), όταν περάσουν μέσα από ένα διαθλαστικό μέσον. Έτσι το λευκό φως —που στην ουσία είναι μία δέσμη ακτινοβολιών διαφορετικών μηκών κύματος, άρα και δεικτών διάθλασης—όταν περνά μέσα από ένα πρίσμα, αναλύεται στις επιμέρους ακτινοβολίες που το συνθέτουν. Με τον τρόπο αυτόν σχηματίζεται το γνωστό σε όλους μας ορατό φάσμα του λευκού φωτός.

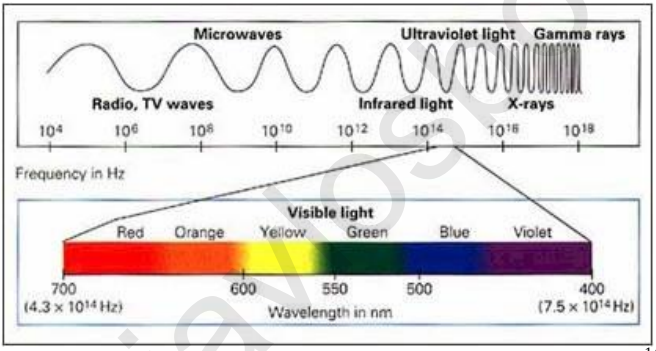
Κάθε μία από τις συνιστώσες ακτινοβολίες του λευκού φωτός αποτελείται από έναν χείμαρρο σωματιδίων, τα φωτόνια, τα οποία μεταφέρουν την ίδια ποσότητα ενέργειας, διαφορετική όμως για κάθε συνιστώσα.

Κάποιες, διαφορετικής ενέργειας συνιστώσες του λευκού φωτός, ευαισθητοποιούν το ανθρώπινο μάτι με διαφορετικό

www.ebooks.gr

τρόπο, δημιουργώντας την αίσθηση των διαφορετικών χρωμάτων του ορατού φάσματος.
Αυτό όμως που πρέπει να σημειώσουμε είναι ότι οι ορατές συνιστώσες του ηλιακού φωτός, αποτελούν μόνο ένα μικρό μέρος του συνόλου των συνιστωσών που το συνθέτουν. Το μεγαλύτερο μέρος απ' αυτές, όπως θα δούμε στη συνέχεια, παραμένουν αόρατες, εφ' όσον το ανθρώπινο μάτι δεν έχει τη δυνατότητα να τις καταγράψει, άρα και να τις αντιληφθεί.

Σχέση χρώματος μήκους κύματος



Μια μικρή περιοχή της ηλεκρομαγνητικής ακτινοβολίας μεταξύ $4.3x10^{14}$ Hz και $7.5x10^{14}$ Hz ονομάζεται οπτικό παράθυρο και την αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο μάτι σαν μια έγχρωμη ταινία διαφορετικών χρωμάτων, από το κόκκινο έως το ιώδες. Η σύνθεση όλων αυτών των ακτινοβολιών μας δίνει λευκό φως.

Τύποι Φασμάτων

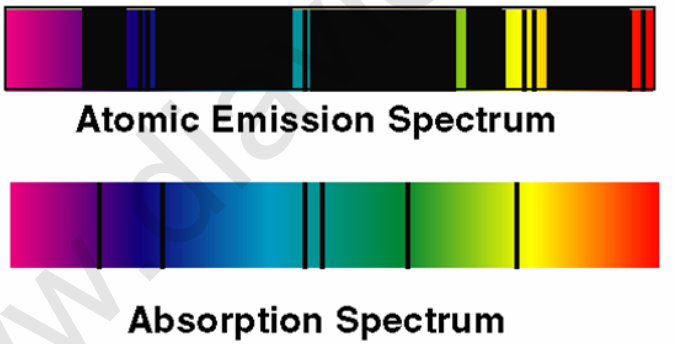
Τα φάσματα, ανάλογα με τη μορφή τους, χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τα *«φάσματα εκπομπής»* και τα *«φάσματα απορρόφησης»*.
Ας εξετάσουμε εν συντομία τις δύο αυτές φασματικές μορφές.
Ορατό φάσμα εκπομπής ονομάζουμε την εικόνα που παίρνουμε πάνω σε μία οθόνη, αν μέσω ενός πρίσματος αναλύσουμε το φως που εκπέμπει ένα ακτινοβόλο σώμα.

www.diavgeiabooks.gr

Αν η εκπέμπουσα πηγή είναι ένα διάπυρο στερεό ή υγρό σώμα υπό υψηλή πίεση, θα παρατηρήσουμε ότι το φάσμα του αποτελείται από μια συνεχή έγχρωμη ταινία χωρίς καμιά διακοπή από σκοτεινές γραμμές ή σκοτεινές περιοχές. Το φάσμα αυτό ονομάζεται*«συνεχές φάσμα εκπομπής»* του διάπυρου στερεού ή υγρού.

Αντίθετα εάν πάρουμε το φάσμα της ακτινοβολίας που εκπέμπουν τα άτομα διάπυρων ατμών ή διάπυρων αερίων, θα παρατηρήσουμε μόνο ορισμένες φωτεινές γραμμές. Η θέση των φωτεινών αυτών γραμμών πάνω στο φάσμα, δηλαδή η ενέργεια των ακτινοβολιών (φωτονίων) που τις σχηματίζουν συναρτήσει του μήκους κύματος, δίνει πληροφορίες για την ποιότητα του εκπέμποντος αερίου.

Το φάσμα αυτό ονομάζεται *«γραμμικό φάσμα εκπομπής»* του διάπυρου ατμού ή του αερίου.



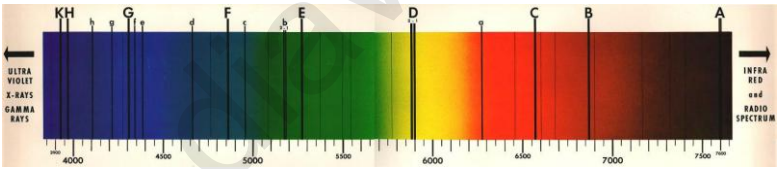
Γραμμικά φάσματα εκπομής και απορρόφησης

Το γραμμικό φάσμα εκπομπής αποτελείται από μεμονωμένες φωτεινές γραμμές τοποθετημένες σε σκοτεινό υπόβαθρο και σε καθορισμένα μήκη κύματος που εξαρτάται από το είδος της ύλης που εκπέμπει.

www.diatosbooks.gr

Διάπυρα αέρια που αποτελούνται από μόρια, δίνουν φάσμα από λαμπρές ταινίες (ταινιωτό φάσμα-ταινίες εκπομπής) πάνω σε σκοτεινό υπόβαθρο. Ίδιας μορφής φάσματα δίνουν και ατμοί διαφόρων βασικών χημικών ενώσεων (SO_2, CO_2 κ.ά).

Ας έρθουμε όμως τώρα στη δεύτερη κατηγορία φασμάτων, εκείνων που ονομάζουμε *«φάσματα απορρόφησης»*.
Όπως γνωρίζουμε, μόνο το κενό είναι τελείως διαφανές. Αντίθετα, όλα τα λεγόμενα διαφανή σώματα απορροφούν πάντα ένα μέρος από τις συνιστώσες ακτινοβολίες του λευκού φωτός που διέρχονται μέσα απ' αυτά. Αποτέλεσμα αυτού του φαινομένου είναι, αν το λευκό φως περάσει μέσα από ένα διαφανές σώμα, αυτό να κρατά ένα μέρος του φάσματος της ενέργειας, δηλαδή του αρχικού λευκού φωτός.
Το μέρος του φάσματος εκπομπής που απομένει μετά την απορρόφηση, ονομάζεται *φάσμα απορρόφησης* και αν το αποτυπώσουμε πάνω σ' ένα πέτασμα βλέπουμε πως παρουσιάζει σκοτεινές περιοχές ή γραμμές, χαρακτηριστικές του απορροφούντος μέσου.



Γραμμικό φάσμα απορρόφησης

Έτσι, αέρια που βρίσκονται υπό χαμηλή θερμοκρασία και πίεση και που παρεμβάλλονται μεταξύ του πετάσματος και της φωτεινής πηγής, η οποία δημιουργεί συνεχές φάσμα, δίνουν σκοτεινές φασματικές γραμμές ή ταινίες. Αυτές βρίσκονται εκεί όπου τα άτομα ή τα μόρια των ίδιων αερίων, όταν είναι σε διάπυρη κατάσταση, δίνουν φωτεινές γραμμές ή ταινίες (ταινιωτά φάσματα-ταινίες απορρόφησης).

www.ebooks.gr

Όπως και τα φάσματα εκπομπής, έτσι και τα φάσματα απορρόφησης διακρίνονται σε συνεχή, σε γραμμικά και σε ταινιωτά.

Συνεχή φάσματα απορρόφησης δίνουν τα διαφανή στερεά και υγρά. Τα συνεχή φάσματα απορρόφησης παρουσιάζονται ως φωτεινές ταινίες που διακόπτονται από σκοτεινές περιοχές.

Το γραμμικό φάσμα απορρόφησης αποτελείται από συνεχές φάσμα εκπομπής στο οποίο παρουσιάζονται σκοτεινές γραμμές σε εκείνα ακριβώς τα μήκη κύματος, τα οποία έχουν απορροφηθεί από το αέριο που έχει παρεμβληθεί. Όπως είναι φυσικό, το γραμμικό φάσμα απορρόφησης χαρακτηρίζει το είδος των ατόμων του αερίου που προκαλεί την απορρόφηση.

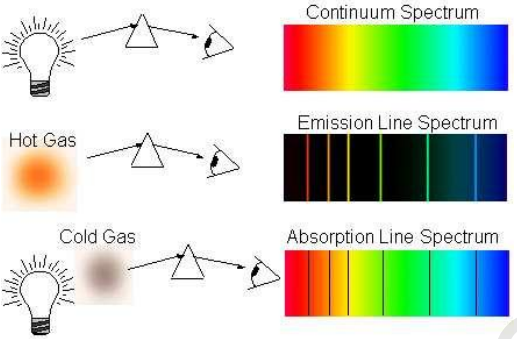
Τα ταινιωτά φάσματα απορρόφησης αποτελούνται από ένα σύνολο σκοτεινών γραμμών, που βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους, δημιουργώντας ευρείες σκοτεινές περιοχές πάνω στο συνεχές φωτεινό υπόβαθρο.

Τα φάσματα αυτά δημιουργούνται αν παρεμβληθούν διατομικά ή τριατομικά αέρια —ή μοριακά διαλύματα στερεών ή υγρών— μεταξύ της πηγής του λευκού φωτός και του κατευθυντήρα του φασματογράφου.

Η θέση των φασματικών γραμμών απορρόφησης πάνω στο φάσμα, καθορίζεται από τον νόμο της *αναστροφής των φασματικών γραμμών*.

Σύμφωνα μ’ αυτόν, αν λευκό φως περάσει μέσα από ένα απορροφούν μέσον, αυτό θα κρατήσει (απορροφήσει) εκείνο το κομμάτι του φάσματος που μπορεί να το εκπέμψει, αν αντίστοιχα διεγερθεί σε ακτινοβολία.

www.kiavipsbooks.gr



Αναστροφή των φασματικών γραμμών. Όταν το αέριο αναγκαστεί να εκπέμψει ακτινοβολία, εκπέμπει στα μήκη κύματος στα οποία ακριβώς μπορεί να απορροφήσεις ενέργεια.

Το φαινόμενο Doppler-Fizeau

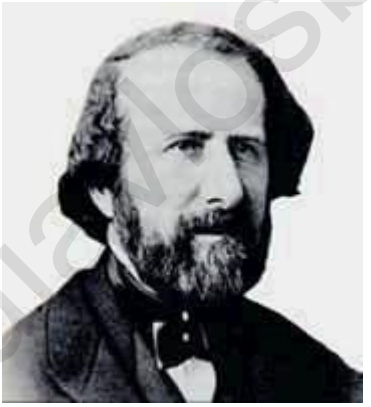
Γύρω στο 1848 ο Αυστριακός μαθηματικός και φυσικός *Κρίστιαν Ντόπλερ, (Christian Doppler, 1803-1853)* ανακάλυψε ένα φασματικό φαινόμενο που έμελλε να ανοίξει νέους ορίζοντες στη μελέτη των κινήσεων των ουρανίων σωμάτων. Ο Doppler ανακάλυψε το φαινόμενο μεταβολής της συχνότητας ενός κύματος, που εκπέμπεται από μια κινούμενη —ως προς τον παρατηρητή— πηγή.



Christian Doppler, 1803-1853

www.diavlosbooks.gr

Το φαινόμενο αυτό διερευνήθηκε αργότερα από τον Γάλλο φυσικό *Αρμάν Φιζό (Armand Fizeau, 1819-1896),* που παρατήρησε τη μετατόπιση των φασματικών γραμμών προς το ερυθρό τμήμα του φάσματος, μιας πηγής που απομακρύνεται από τον παρατηρητή (1848). Ο Fizeau βελτίωσε σημαντικά τη θεωρητική διερεύνηση του φαινομένου, και διατύπωσε την τελική μαθηματική του έκφραση. Σύμφωνα, λοιπόν, με τον νόμο Doppler-Fizeau (D-F), όπως ονομάστηκε ο νόμος που διέπει το φαινόμενο, οι φασματικές γραμμές ενός εκπέμποντος σώματος θα μετατοπιστούν προς τα μικρότερα μήκη κύματος (προς το ιώδες) ή προς τα μεγαλύτερα (προς το ερυθρό), ανάλογα με το αν η φωτεινή πηγή πλησιάζει ή απομακρύνεται αντίστοιχα από τον παρατηρητή κατά τη διεύθυνση της παρατήρησης.



Armand Fizeau, 1819-1896

Η φασματική μετατόπιση

Αν το σώμα που ακτινοβολεί παρουσιάζει ια σχετική κίνηση σε σχέση με τον παρατηρητή και κατά τη διεύθυνση της παρατήρησης (ακτινική διεύθυνση) με ταχύτητα υ (ακτινική ταχύτητα), τότε το μήκος κύματος μιας φασματικής γραμμής λ θα μετατοπιστεί κατά Δλ.

www.diavlos.gr

Η μετατόπιση αυτή δίνεται από τη σχέση:

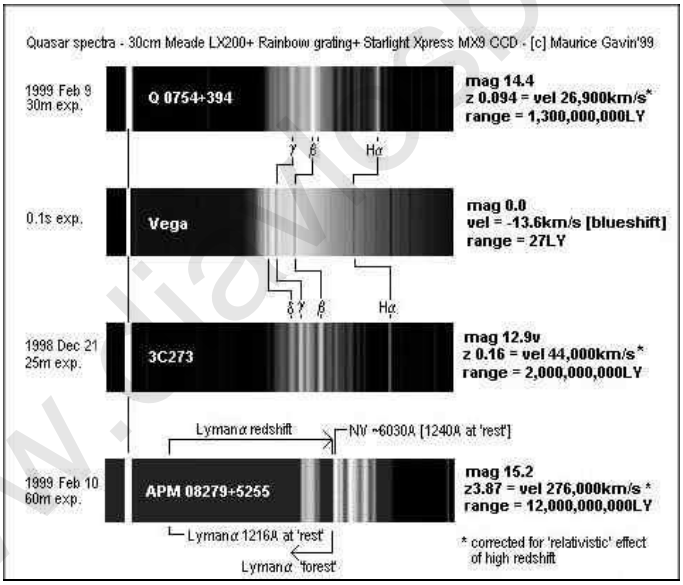
$$\Delta\lambda/\lambda=\upsilon/c$$

όπου: c είναι η ταχύτητα του φωτός.

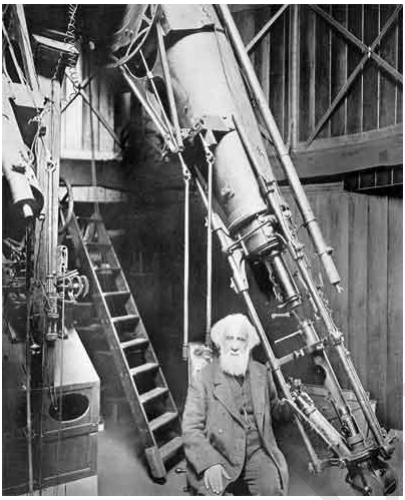
Σήμερα έχει αποδειχθεί ότι αν η ταχύτητα υ είναι σχετικιστική, πλησιάζει δηλαδή την ταχύτητα του φωτός, η μετατόπιση Δλ θα δίνεται από τη σχέση:

$$\upsilon/c =(1+z)-1/(1+z)+1, \text{ όπου } z=\Delta\lambda/\lambda$$

Όταν το αντικείμενο δεν μετατοπίζεται ακτινικά, με βάση τον νόμο (D-F), μπορούμε να υπολογίσουμε μόνο την ακτινική συνιστώσα της ταχύτητας ($\upsilon_{\text{ακτινική}}$=υsini όπου i είναι η οξεία γωνία που σχηματίζει ο οπτικός άξονας του παρατηρητή με την διεύθυνση κίνησης του σώματος.



www.kiamosbooks.gr



Ο πρώτος που χρησιμοποίησε την ανακάλυψη των Doppler-Fizeau, ήταν ο Άγγλος αστρονόμος *Γουίλιαμ Χάγκινς (William Huggins, 1824-1910),* ο οποίος το 1868 μελετώντας το φάσμα του Σείριου
εντόπισε μια ελαφρά μετατόπιση των φασματικών του γραμμών προς το κόκκινο, γεγονός που σύμφωνα με τον νόμο D-F σήμαινε ότι το αστέρι αυτό απομακρύνεται από τη Γη με ταχύτητα 50 Km/sec κατά τη διεύθυνση της παρατήρησής του.
Από τότε πέρασαν πάρα πολλά χρόνια, μέχρι να φθάσουμε στην εποχή που μέσω αυτού του φαινομένου, οι αστρονόμοι θα άρχιζαν να μετρούν συστηματικά την ταχύτητα με την οποία οι γαλαξίες ή τα άστρα απομακρύνονταν ή προσέγγιζαν τη Γη κατά τη διεύθυνση της παρατήρησής τους.

www.ziavlos-books.gr

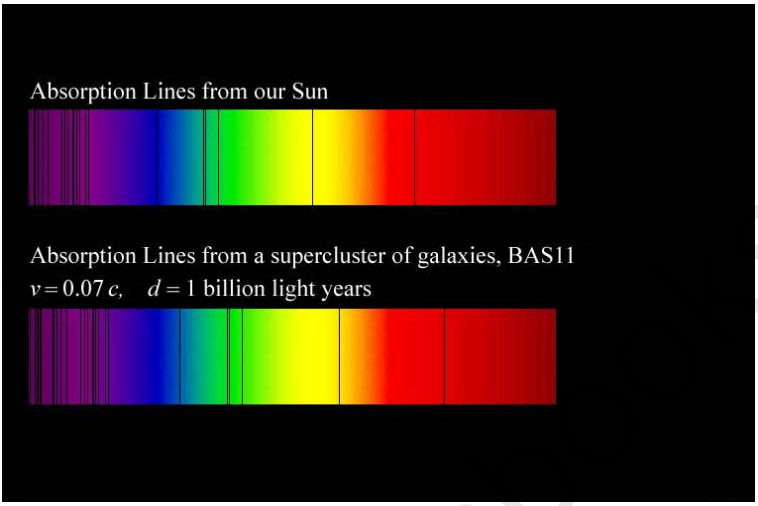


William Huggins,
1824-1910

Σήμερα γνωρίζουμε ότι στην περίπτωση κατά την οποία ένας αστέρας περιβάλλεται από ατμόσφαιρα ή γενικότερα από ένα αέριο κέλυφος, η μετατόπιση των φασματικών γραμμών απορρόφησης, περιγράφει τις ακτινικές ταχύτητες διαστολής ή συστολής των διαφόρων περιοχών του αερίου που τον περιβάλλει.

Μέσω, λοιπόν, της φασματοσκοπίας μπορούμε να πάρουμε πληροφορίες για τη χημική σύνθεση των αστρικών ατμοσφαιρών. Αν, όμως, υπεισέρχονται και μετατοπίσεις των φασματικών γραμμών, λόγω του φαινομένου D-F, τότε μπορούμε να υπολογίσουμε και την ακτινική ταχύτητα των ατμοσφαιρικών περιοχών του άστρου κατά μήκος της γραμμής παρατήρησης.

www.diavlosbooks.gr



Το φαινόμενο D-F. Οι φασματικές γραμμές απορρόφησης του γαλαξία (δεύτερο φάσμα) είναι μετατοπισμένες προς την ερυθρά περιοχή του φάσματος, σε σχέση με τις αντίστοιχες φασματικές γραμμές του Ήλιοθ μας (πρώτο φάσμα). Η τιμή αυτής της μετατόπισης είναι ενδεικτική της ακτινικής ταχύτητας του γαλαξία.

Η σχετικιστική μετατόπιση Doppler

Σύμφωνα με το νόμο D-F, η ακτινική ταχύτητα απομάκρυνσης των γαλαξιών v δίνεται από τη σχέση:

$$z = \frac{v}{c} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda},$$

όπου λ το μήκος κύματος μιας τυχαίας φασματικής γραμμής του γαλαξία και $\Delta\lambda$ η μετατόπισή της λόγω του φαινομένου D-F.

Με τον τρόπο αυτό, ο νόμος του Hubble παίρνει τη μορφή:

$$c \cdot z = H \cdot r$$

Στην περίπτωση που η v πλησιάζει την ταχύτητα του φωτός, το z δίνεται ακριβέστερα από τη σχέση:

$$z = \sqrt{\frac{1+\frac{v}{c}}{1-\frac{v}{c}}} - 1$$

Τέλος, αυτό που θα πρέπει να σημειωθεί είναι ότι η ακριβής έκφραση του νόμου του Hubble δίνεται από τη σχέση:

$$zc = Hr + \frac{H^2 r^2}{2c}(q-1)$$

όπου η ποσότητα q καλείται παράγων επιβράδυνσης.

Σύμφωνα με τη Θεωρία της Σχετικότητας, όμως, η μετατόπιση των φασματικών γραμμών των γαλαξιών μπορεί να μην είναι μόνο αποτέλεσμα φαινομένου Doppler, άρα να μην δηλώνει εξ ολοκλήρου ακτινική απομάκρυνση των γαλαξιών. Πράγματι, όπως γνωρίζουμε σήμερα, το φως ενός γαλαξία, όταν περάσει κοντά από ένα ισχυρότατο πεδίο βαρύτητας —όπως εκείνα που σχηματίζονται π.χ. στο περιβάλλον ενός αστέρα νετρονίων ή μιας μαύρης τρύπας—, στην προσπάθειά του να το υπερνικήσει και να απομακρυνθεί απ' αυτό, χάνει ενέργεια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα μήκη κύματος όλων των διαφορετικών επιμέρους ακτίνων, οι οποίες συντιθέμενες δημιουργούν την αίσθηση του φωτός του γαλαξία, να μετατοπίζονται προς την ερυθρή περιοχή του φάσματος.

Η βαρυτική μετατόπιση

Οι φασματικές γραμμές του φωτός ενός γαλαξία, όταν περάσουν σε απόσταση R από ένα πεδίο βαρύτητας που δημιουργείται από μια μάζα M, θα μετατοπιστούν κατά έναν παράγοντα z που δίνεται από τη σχέση:

$$z = G\frac{M}{R}c^2$$

www.diavgeiabooks.gr

όπου $z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$, c η ταχύτητα του φωτός, G η παγκόσμια σταθερά της βαρύτητας, λ το μήκος κύματος μιας τυχαίας φασματικής γραμμής του γαλαξία και $\Delta\lambda$ η μετατόπισή της λόγω του φαινομένου D-F.

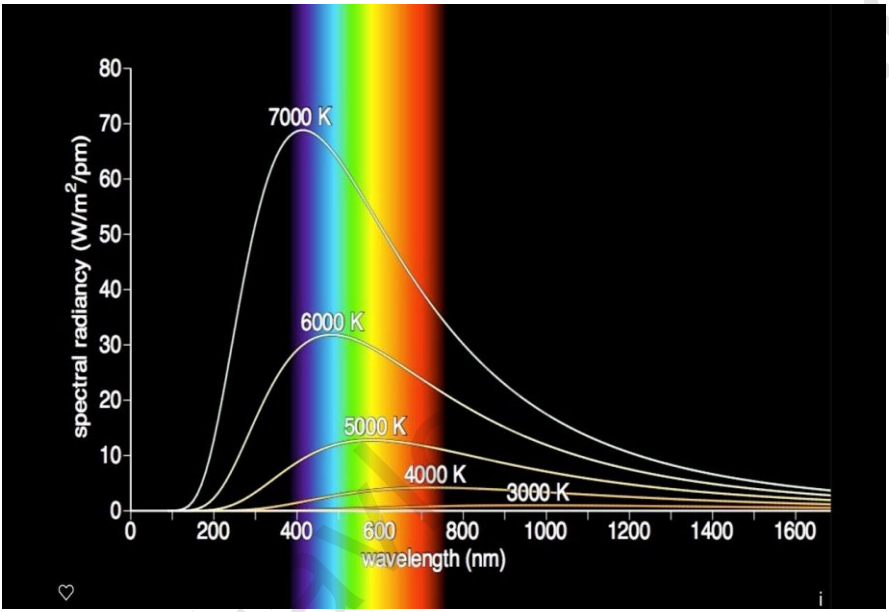
Η ανακάλυψη αυτού του φαινομένου επαναφέρει στο προσκήνιο την υπόθεση της διαστολής του Σύμπαντος των γαλαξιών και τις κοσμολογικές θεωρίες που στηρίζονται σ' αυτήν. Κάτι τέτοιο ήταν αναμενόμενο από τη στιγμή που η μετατόπιση των φασματικών γραμμών των γαλαξιών δεν ερμηνεύεται πλέον μονοσήμαντα ως διαστολή του Σύμπαντος.

Όταν αποδείχτηκε πειραματικά η αλήθεια της προηγούμενης θεωρίας, ρώτησαν τον Αϊνστάιν για το τι θα έλεγε αν η θεωρία του αποδεικνυόταν λανθασμένη.

Εκείνος απάντησε: *«Θα έλεγα: Κρίμα για το Θεό, γιατί η θεωρία είναι οπωσδήποτε σωστή»*.

www.diavlosbooks.gr

Τα μελανά σώματα των αστεριών*



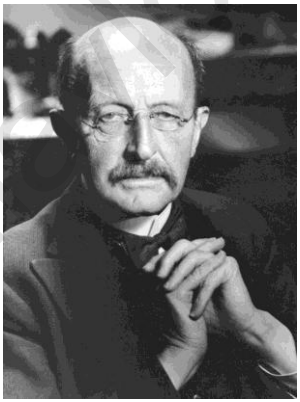
*Βασική πηγή αυτού του κεφαλαίου είναι το βιβλίο των Μάνου Δανέζης και Στράτου Θεοδοσίου: *«Το Σύμπαν που αγάπησα – Εισαγωγή στην Αστροφυσική»*, Εκδόσεις Δίαυλος, Αθήνα 1998

www.diavlos.gr

Εάν ένα σώμα δεχθεί μια ποσότητα ενέργειας υπό μορφήν ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας διαφόρων μηκών κύματος, θα απορροφήσει μόνο κάποιο ποσοστό της, ενώ το υπόλοιπο θα το ανακλάσει.
Ονομάζουμε «μέλαν σώμα» το ιδεατό εκείνο σώμα που σε θερμοδυναμική ισορροπία* έχει την ιδιότητα να απορροφά προσπίπτουσα ακτινοβολία όλων ανεξαρτήτως των μηκών κύματος αλλά όχι ισόποσα.

* Θερμοδυναμική ισορροπία=η θερμοκρασία έχει την ίδια τιμή σ' ολόκληρο το θεωρούμενο αέριο μέσον.

Εφ' όσον όμως το μέλαν σώμα μπορεί ν' απορροφά ενέργεια όλων των μηκών κύματος, βάσει του νόμου της αναστροφής των φασματικών γραμμών, αν διεγερθεί σε ακτινοβολία μπορεί να εκπέμψει ομοίως ενέργεια σε όλα τα μήκη κύματος.



Max Planck (1858-1947)

Αυτό όμως που πρέπει να σημειώσουμε είναι ότι η ποσότητα της ενέργειας που απορροφά ή εκπέμπει το μέλαν σώμα σε κάθε

www.diofantosbooks.gr

μήκος κύματος δεν είναι η ίδια, αλλά εξαρτάται από τη θερμοκρασία του Τ.

Η κατανομή της ακτινοβολίας (ενέργειας) ενός μέλανος σώματος σε όλα τα μήκη κύματος, αποτελεί αυτό που ονομάζουμε *«συνεχές φάσμα εκπομπής του»*, φαινόμενο που μελετήθηκε από τον *Max Planck (1858-1947)* και περιγράφεται από τη σχέση:

$$E_{\lambda}(T) = \frac{2hc\lambda^{5}}{\frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda KT}}} - 1}$$

όπου:

$E_{\lambda}(T)$ είναι η ικανότητα εκπομπής του μέλανος σώματος σε δεδομένη θερμοκρασία Τ και μήκος κύματος λ (μονοχρωματική ειδική ένταση της ακτινοβολίας), που εκφράζει την ισχύ την οποία ακτινοβολεί η μονάδα της επιφάνειας του σώματος στις συνθήκες αυτές.

Τ είναι η απόλυτη θερμοκρασία του μέλανος σώματος σε βαθμούς Kelvin,

λ είναι το μήκος κύματος μετρούμενο σε cm,

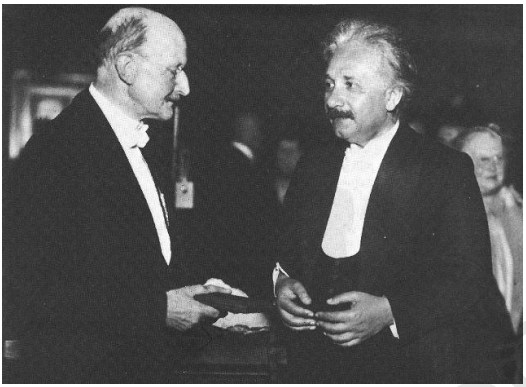
$h=6{,}624 \times 10^{-27}$ erg·sec αποτελεί τη σταθερά δράσεως του Planck,

$c=2{,}998 \times 10^{10}$ cm·sec^{-1} είναι η ταχύτητα του φωτός και τέλος,

$K=1{,}38 \times 10^{-16}$ erg·deg^{-1} είναι η σταθερά του Boltzmann.

Αν παραστήσουμε γραφικά την ενέργεια Ε που εκπέμπει ένα μέλαν σώμα θερμοκρασίας Τ σε όλα τα μήκη κύματος λ_i, θα πάρουμε μια καμπύλη, η οποία και θα αποτελεί τη γραφική απεικόνιση του συνεχούς φάσματος εκπομπής του συγκεκριμένου μέλανος σώματος.

www.diavlosbooks.gr



Planck και Einstein

Ο νόμος του Planck εκφράζεται και από τη σχέση:

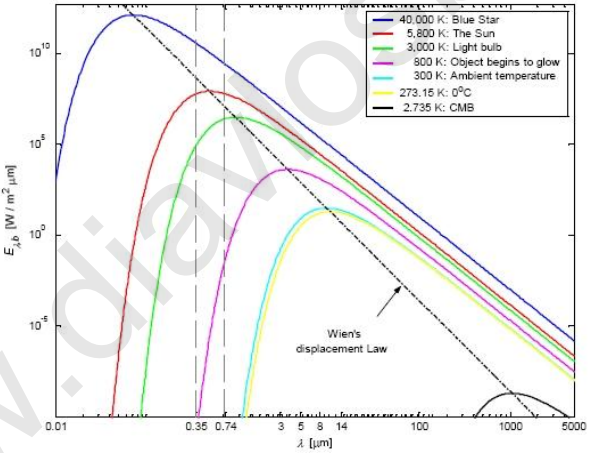
$$B_\nu(T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{KT}} - 1}$$

όπου η ένταση της ακτινοβολίας $B_\nu(T)$ μετριέται σε erg sec^{-1} cm^{-2} $sterad^{-1}$ Hz^{-1} και αυτή είναι η ενέργεια που εκπέμπει ένα μέλαν σώμα στη μονάδα του χρόνου (ανά Hz) από κάθε μονάδα της επιφάνειάς του και μέσα στη μονάδα στερεάς γωνίας, όταν βρίσκεται σε θερμοδυναμική ισορροπία και έχει θερμοκρασία T. Από την πιο πάνω σχέση προκύπτει ότι τα σώματα που έχουν την ίδια θερμοκρασία T, εκπέμπουν και την ίδια ένταση της ακτινοβολίας, ανεξάρτητα από τη σύστασή τους.

Εξαιτίας αυτού του γεγονότος, δεν μπορούμε να πάρουμε πληροφορίες για τη χημική σύσταση ενός άστρου εξετάζοντας το συνεχές φάσμα του, ενώ αντίθετα μπορούμε να εκτιμήσουμε τη θερμοκρασία του.

www.physicsbooks.gr

Με βάση τον νόμο του Planck μπορούμε να υπολογίσουμε τη θερμοκρασία ενός άστρου μετρώντας την ένταση της ακτινοβολίας του. Με εφαρμογή του νόμου του Planck βρέθηκε ότι όσο αυξάνει η θερμοκρασία τόσο αυξάνει και η ένταση της ακτινοβολίας και ότι η αύξηση αυτή της ακτινοβολίας γίνεται ταχύτερα στα μικρότερα μήκη κύματος. Δηλαδή, το ποσόν της συνολικής ακτινοβολίας των άστρων, που παρουσιάζουν χαμηλές θερμοκρασίες, είναι τόσο μικρότερο, όσο η θερμοκρασία τους είναι μικρότερη. Επίσης μέσω του νόμου του Planck βρίσκουμε το μήκος κύματος στο οποίο παρατηρείται η μέγιστη ένταση της ακτινοβολίας ως συνάρτηση της θερμοκρασίας του άστρου. Η απόλυτη θερμοκρασία του Ήλιου, όπως υπολογίζεται από την εφαρμογή του νόμου του Planck κυμαίνεται μεταξύ 5.800 και 6.300 K.



Όπως παρατηρούμε στο σχήμα αστέρια (τα οποία θεωρούνται μελανα σώματα) διαφορετικών θερμοκρασιών παρουσιάζουν το μεγιστό της κατανομής Planck σε διαφορετικά μήκη κύματος όπως προβλέπει ο νόμος του Wien.

www.diavgeiabooks.gr



Wilhelm Wien
(1864-1928)

Η ενέργεια της ακτινοβολίας ενός μέλανος σώματος μεταφέρεται στον χώρο, από φωτόνια διαφορετικών μηκών κύματος, κάθε ένα από τα οποία φέρει ενέργεια Ε που υπολογίζεται από τη σχέση:

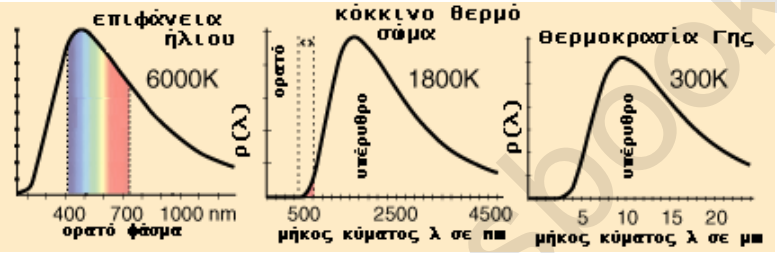
$E=h\nu$ ή $E=hc/\lambda$

εφ' όσον $c=\nu\lambda$, όπου ν είναι η συχνότητα της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας και h η σταθερά δράσεως του Planck.

Η ακτινοβολία των αστεριών

Η ακτινοβολία των αστεριών που αντιλαμβανόμαστε και συλλέγουμε στα γήινα παρατηρητήριά μας, οφείλεται βασικά σε τρεις φυσικές διεργασίες που συντελούνται στα πλαίσια του άστρου:

1. *Θερμική ακτινοβολία:* Ονομάζουμε την ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα σώμα λόγω της θερμικής κατάστασής του. Η ένταση της θερμικής ακτινοβολίας περιγράφεται από τον νόμο του Planck, ενώ το μήκος κύματος που αντιστοιχεί στο μέγιστο της έντασης της ακτινοβολίας από τον νόμο του Wien. Αυτό σημαίνει ότι τα αστέρα με μια πάρα πολύ καλή προσέγγιση μπορούν να θεωρηθούν μέλανα σώματα



Η κατανομή της ένταση της θερμικής ακτινοβολίας για σώματα διαφορετικών θερμοκρασιών σύμφωνα με τον νόμο του Planck

2. *Ακτινοβολία Σύγχροτρον:* Ονομάζουμε την ακτινοβολία που εκπέμπεται όταν ηλεκτρόνια με σχετικιστικές ταχύτητες περιστρέφονται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο. Η ακτινοβολία αυτή δημιουργεί συνεχές φάσμα, εκπέμπεται μέσα στα όρια ενός στενού κώνου γωνίας $\alpha=2m_oc^2/E$ με άξονα κάθετο στη διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου, όπου m_O η μάζα ηρεμίας του ηλεκτρονίου και Ε η ενέργειά του.

3. *Ακτινοβολία πλάσματος*: Οφείλεται στις ταλαντώσεις των ιόντων υψηλού ιονισμού του πλάσματος και εκπέμπεται στα μεγάλα μήκη κύματος (περιοχή ραδιοκυμάτων).

www.ziavlos-books.gr



Στην εικόνα μπορούμε να διακρίνουμε στην περίπτωση ενός Quasar τον πίδακα που εκπέμπει ακτινοβολία σύγχροτρον

Τρεις βασικοί νόμοι της Φυσικής

Μια μορφή ακτινοβολίας που δεχόμαστε από τα άστρα, όπως αναφέραμε) είναι η θερμική ακτινοβολία, την οποία εκπέμπει κάθε σώμα λόγω της θερμικής του κατάστασης. Ένα σώμα εκπέμπει θερμική ακτινοβολία, όταν η κατανομή της ενέργειάς του, ακολουθεί την κατανομή μέλανος σώματος. Αποτέλεσμα του προηγούμενου γεγονότος είναι ότι τα αστέρια, με μια καλή προσέγγιση, όπως ήδη έχουμε πει, συμπεριφέρονται σαν μέλανα σώματα κάποιας συγκεκριμένης θερμοκρασίας. Αυτό σημαίνει ότι η συνεχής συνιστώσα εκπομπής του φάσματος (συνεχές φάσμα εκπομπής) ενός αστεριού, η οποία αποτελείται από την εξομαλυσμένη καμπύλη, που προκύπτει αν αφαιρέσουμε από το φάσμα τις φασματικές γραμμές, παρουσιάζει σε μια πρώτη προσέγγιση τη φασματική κατανομή της ακτινοβολίας ενός μέλανος σώματος.

Από τη μελέτη των φασμάτων χιλιάδων αστεριών καταλήξαμε στα επόμενα συμπεράσματα:

www.ziziosbooks.gr

α. Τα φάσματα των περισσότερων αστεριών είναι σύνθετα. Αυτό σημαίνει ότι αποτελούνται από μια συνεχή συνιστώσα εκπομπής (συνεχές φάσμα εκπομπής), η οποία διακόπτεται από φασματικές γραμμές απορρόφησης ή εκπομπής.
β. Οι φασματικές γραμμές των αστεριών βρίσκονται στα ίδια μήκη κύματος με τις φασματικές γραμμές των χημικών στοιχείων που ανιχνεύονται στη Γη.
Στην περίπτωση ενός μέλανος σώματος εκτός του νόμου του Planck ισχύουν οι επόμενοι δύο νόμοι της Φυσικής, που εφαρμόζονται και στα αέρια, τα οποία με καλή προσέγγιση θεωρούνται μέλανα σώματα.

Νόμος του Wien

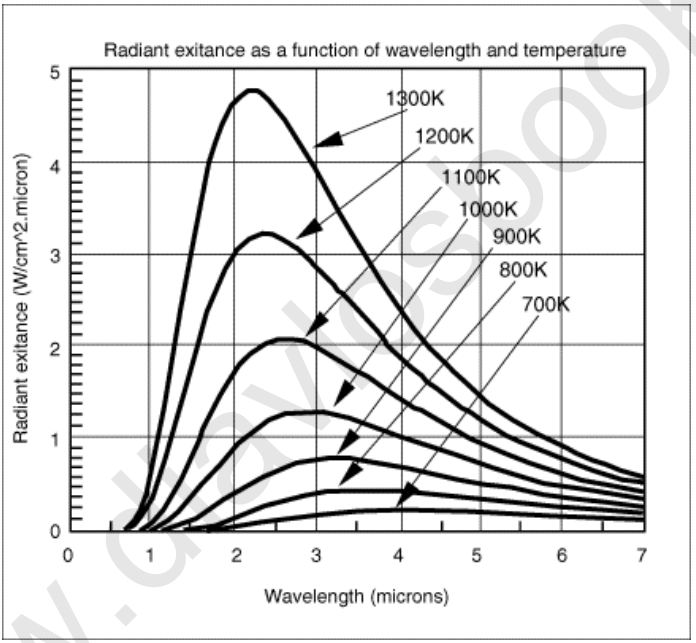
Όταν αυξηθεί η θερμοκρασία ενός σώματος που εκπέμπει θερμική ενέργεια, τότε αυξάνεται και η ένταση της ακτινοβολίας για όλα τα μήκη κύματος και το μέγιστο της κατανομής της ενέργειας μετατοπίζεται προς τα μικρότερα μήκη κύματος (υψηλότερες ενέργειες).



Wilhelm Wien
(1864-1928)

www.diavlosbooks.gr

Αν γνωρίζουμε τη θερμοκρασία ενός μέλανος σώματος μπορούμε να υπολογίσουμε σε ποιο μήκος κύματος εκπέμπει το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας του, δηλαδή σε ποιο μήκος κύματος βρίσκεται το μέγιστο των προηγούμενων καμπυλών μέσω του νόμου της μετατόπισης του Wien, που ονομάστηκε έτσι από τον Γερμανό φυσικό Wilhelm Wien (1864-1928), βραβείο Νόμπελ Φυσικής το 1911, που τον διατύπωσε το 1893.



Ο νόμος του Wien

Ο νόμος του Wien εκφράζεται από τη σχέση:

$$\lambda_{\max} T = 0{,}28973 cm \cdot grad$$

όπου το λ μετράται σε cm και η θερμοκρασία T σε βαθμους Kelvin. Ο νόμος αυτός περιγράφει τη διαδικασία της αλλαγής

www.dtvbooks.gr

του χρώματος της ακτινοβολίας, καθώς ταυτόχρονα μεταβάλλεται η θερμοκρασία της πηγής εκπομπής.
Η μεγίστη ένταση της ακτινοβολίας εκδηλώνεται σε τόσο μικρότερο μήκος κύματος, όσο μεγαλυτέρη είναι η θερμοκρασία. Συνεπώς όσον αφορά το μέλαν σώμα, ακτινοβολεί μεν σε όλα τα μήκη κύματος, αλλά η μεγίστη ακτινοβολία του παρέχεται από ορισμένο μήκος κύματος, που είναι τόσο μικρότερο, όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία. Δηλαδή, αν γνωρίζουμε το μήκος κύματος της μεγίστης ακτινοβολίας βρίσκουμε αμέσως από τον νόμο του Wien την απόλυτη θερμοκρασία του άστρου. Εφαρμόζοντας τον νόμο του Wien στην περίπτωση του Ήλιου βρίσκουμε απόλυτη θερμοκρασία ίση με 6.150 K.

Νόμος των Stefan-Boltzmann*



S. Boltzmann

Ο νόμος των Stefan-Boltzmann

$$F=\sigma T^4$$

εκφράζει το γεγονός ότι από την επιφάνεια ενός μέλανος σώματος θερμοκρασίας T, ο ρυθμός εκπομπής της ακτινοβολίας

www.diavlosbooks.gr

ανά μονάδα επιφανείας (cm^2) και χρόνου (sec) —δηλαδή η ροή της ακτινοβολίας— είναι ανάλογος της τετάρτης δυνάμεως της θερμοκρασίας.
όπου:
$\sigma=5,6697 \times 10^{-5}$ erg cm^{-2} sec^{-1} $grad^{-4}$ είναι η σταθερά Stefan-Boltzmann.
Ο νόμος των *Stefan-Boltzmann** δείχνει ότι η εκπομπή θερμικής ακτινοβολίας από την επιφάνεια ενός μέλανος σώματος αυξάνει πολύ γρήγορα σε σχέση με την αύξηση της θερμοκρασίας του. Έτσι ένα σώμα που μόλις διπλασιάζει τη θερμοκρασία του, ακτινοβολεί δεκαέξι φορές περισσότερο!
Εφαρμόζοντας τον νόμο των Stefan-Boltzmann στην περίπτωση του Ήλιου βρίσκουμε απόλυτη θερμοκρασία ίση με 5.750 K.



Josef Stefan

**Από τους Αυστριακούς φυσικούς Josef Stefan και Ludwig Boltzmann. Ο Stefan προσδιόρισε το 1878 τη σχέση μεταξύ του ρυθμού εκπομπής ακτινοβολίας ενός σώματος και της θερμοκρασίας του (=η ολική ακτινοβολία κάποιου σώματος είναι ανάλογη της τετάρτης δυνάμεως της απολύτου θερμοκρασίας του). Το 1884 ο Boltzmann απέδειξε θεωρητικά ότι η σχέση*

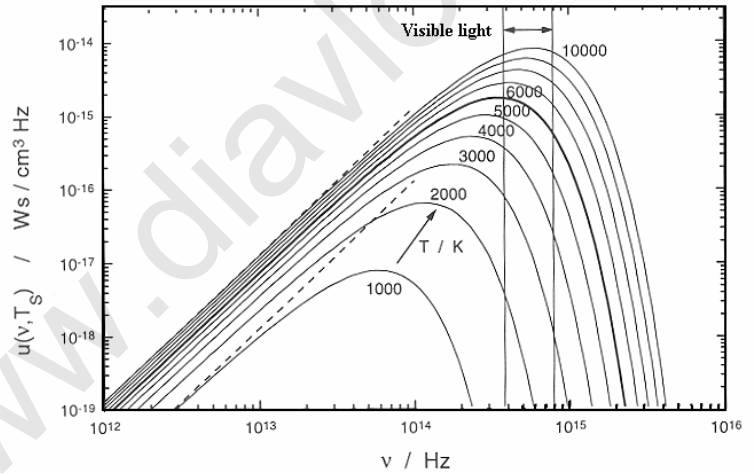
www.diavgeiabooks.gr

αυτή ισχύει μόνον για το μέλαν σώμα. Από τότε η σχέση αυτή έμεινε γνωστή ως νόμος των Stefan-Boltzmann.

Η διαφορά μεταξύ των δύο τελευταίων νόμων, στον υπολογισμό της απόλυτης θερμοκρασίας των άστρων, συνίσταται στο ότι στη μεν πρώτη περίπτωση πρέπει να γνωρίζουμε τη μεγίστη μόνο ακτινοβολία, η οποία θα αντιστοιχεί πάντοτε σε ορισμένο μήκος κύματος, ενώ στη δεύτερη περίπτωση πρέπει να γνωρίζουμε τη συνολική ακτινοβολία ενός άστρου, δηλαδή αυτή που εκπέμπεται σε όλο το μήκος του φάσματος.

Εφαρμογή των τριών νόμων στα αστρικά φάσματα

Με τη βοήθεια των νόμων αυτών και ειδικά με τον νόμο του Planck μπορούμε να υπολογίσουμε την κατανομή της ενέργειας στο φάσμα ενός μέλανος σώματος και στη συνέχεια ενός άστρου για διάφορες θερμοκρασίες.



Η κατανομή μέλανος σώματος για διάφορες θερμοκρασίες

www.diavlosbooks.gr

Αυτό που θα πρέπει να σημειωθεί είναι ότι οι προϋποθέσεις που θέτει ο νόμος του Planck δεν εφαρμόζονται πλήρως στην περίπτωση των άστρων. Δηλαδή το φάσμα των άστρων δεν ταυτίζεται με το αντίστοιχο φάσμα μέλανος σώματος. Η συνήθης απόκλιση της μορφής του φάσματος ενός αστεριού από την κατανομή του Planck οφείλεται κυρίως στους επόμενους τρεις λόγους**:**

1. Τα άστρα δεν είναι τέλεια μέλανα σώματα επειδή η ακτινοβολία τους προέρχεται από διάφορα βάθη και όχι από μια ορισμένη επιφάνεια σταθερής θερμοκρασίας. Δηλαδή η ακτινοβολία του αστεριού προέρχεται από διαφορετικά βάθη του εξωτερικού στρώματος εκπομπής του αστεριού, που έχουν διαφορετικές θερμοκρασίες. Αυτό σημαίνει ότι το φάσμα μοιάζει να είναι μια σύνθεση φασμάτων πολλών μελανών σωμάτων διαφορετικών θερμοκρασιών (έστω και αν οι θερμοκρασίες δεν διαφέρουν πολύ μεταξύ τους).
2. Στη φωτόσφαιρα του άστρου, όπως είναι φυσικό, παρουσιάζονται αποκλίσεις από τη θερμοδυναμική ισορροπία που προϋποθέτει ο νόμος του Planck. Δηλαδή δεν επικρατεί θερμοδυναμική ισορροπία σε όλο το εξωτερικό στρώμα του αστεριού, από το οποίο προέρχεται η ακτινοβολία.
3. Η παρουσία γραμμών απορρόφησης στο φάσμα επηρεάζει τη μορφή του.

Αν παραστήσουμε γραφικά την ενέργεια $E_\lambda(T)$ που εκπέμπει ένα μέλαν σώμα θερμοκρασίας Τ σε όλα τα μήκη κύματος λi, θα πάρουμε μια καμπύλη η οποία αποτελεί τη γραφική απεικόνιση του συνεχούς φάσματος εκπομπής του συγκεκριμένου μέλανος σώματος

Όπως γίνεται φανερό από τη σχέση του Planck, μέλανα σώματα διαφορετικών θερμοκρασιών Τ θα δίνουν διαφορετικές καμπύλες συνεχούς φάσματος εκπομπής.

www.diavlospress.gr

Συνεπώς, η γραφική παράσταση του νόμου του Planck οδηγεί σε μια οικογένεια καμπυλών (μια καμπύλη για κάθε θερμοκρασία), που παρουσιάζουν η κάθε μία χωριστά ένα μέγιστο της εκπεμπόμενης ισχύος. Αυτό το μέγιστο, σύμφωνα με τον νόμο του Wien, αντιστοιχεί στο μήκος κύματος λ_{max}.

Από το προηγούμενο σχήμα φαίνεται ότι όσο αυξάνει η θερμοκρασία του σώματος, το μήκος κύματος που αντιστοιχεί στο μέγιστο της καμπύλης μετατοπίζεται προς τα μικρότερα μήκη κύματος.

Ενεργός θερμοκρασία

Ορισμός της έννοιας «θερμοκρασία»

Η θερμοκρασία ενός άστρου είναι ένα μέγεθος που, όπως θα δούμε, δεν μπορούμε να το ορίσουμε επ' ακριβώς με έναν και μοναδικό τρόπο. Στις περισσότερες περιπτώσεις είναι απλώς και μόνο μία θερμοδυναμική παράμετρος. Γενικά πάντως η θερμοκρασία είναι ο καθοριστικός παράγοντας της μορφής του γραμμικού φάσματος απορρόφησης και του συνεχούς φάσματος του άστρου.

Η θερμοκρασία, λοιπόν, ενός άστρου σχετίζεται αφ' ενός μεν με τη ροή της ακτινοβολίας που εκπέμπεται απ' αυτό, αφ' ετέρου, δε, μας δίνει τη δυνατότητα να εξαγάγουμε συμπεράσματα για την κινητική ενέργεια των ατόμων ή μορίων, την κατανομή της, καθώς και την κατάσταση διέγερσης και ιονισμού των ατόμων του άστρου.

Οι μέθοδοι υπολογισμού της θερμοκρασίας των άστρων είναι πολλές —έμμεσες ή άμεσες— και βασίζονται στη μελέτη είτε του γραμμικού φάσματος απορρόφησης, είτε του συνεχούς φάσματος εκπομπής τους.

Οι τιμές της θερμοκρασίας που υπολογίζονται με τις διάφορες μεθόδους, όχι μόνο δεν ταυτίζονται, αλλά παρουσιάζουν μεταξύ

www.diavlosbooks.gr

τους μεγάλες αποκλίσεις της τάξεως του 20%. Αυτό δεν είναι περίεργο, αφού εκτός από τα σφάλματα παρατήρησης και επεξεργασίας των δεδομένων μας, γνωρίζουμε ότι το φως που μας έρχεται από κάποιο άστρο προέρχεται από ένα στρώμα σημαντικού πάχους, τη φωτόσφαιρα, μέσα στην οποία δεν ισχύει η θερμοδυναμική ισορροπία και επιπλέον παρουσιάζει σημαντική διαφάνεια.

Για τον λόγο αυτόν κάθε μετρούμενη θερμοκρασία ενός άστρου συνοδεύεται πάντα από έναν χαρακτηρισμό που δηλώνει τη μέθοδο υπολογισμού της.

Πολλές θερμοκρασίες

Εκτός της ενεργού θερμοκρασίας που μελετούμε σ' αυτή την ενότητα, μπορούμε να ορίσουμε και μια σειρά άλλων θερμοκρασιών, όπως:

1. *Θερμοκρασία ακτινοβολίας* T_{rad} ονομάζουμε τη θερμοκρασία μέλανος σώματος, το οποίο ακτινοβολεί το ίδιο ποσό ενέργειας με το παρατηρούμενο από έναν αστέρα σε καθορισμένη φασματική περιοχή $\Delta\lambda$.

2. *Θερμοκρασία λαμπρότητας* T_b καλείται η θερμοκρασία ενός μέλανος σώματος που ακτινοβολεί το ίδιο ποσό ενέργειας με το παρατηρούμενο από έναν αστέρα σε ορισμένο μήκος κύματος λ. Δηλαδή $T_b = \lim_{\Delta\lambda \to 0} T_{rad}$.

3. *Θερμοκρασία χρώματος Tc* ονομάζουμε τη θερμοκρασία μέλανος σώματος, που παρουσιάζει στην περιοχή του φάσματος που γίνεται η παρατήρηση, την ίδια κατανομή έντασης με το παρατηρούμενο αστέρι.

4. *Κινητική θερμοκρασία* $T_{κιν}$ είναι η θερμοκρασία που προκύπτει από την παρατηρούμενη κατανομή Maxwell των ταχυτήτων των σωματιδίων.

www.ziavosbooks.gr

Από την κινητική θεωρία των αερίων μπορούμε να υπολογίσουμε την κινητική θερμοκρασία, και απ' αυτήν:

α. *Την πιθανότερη ταχύτητα (θερμική ταχύτητα)* υ_{pr}

$$v_{pr} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{2kT_{κιν}}{m}}$$

β. *Τη μέση ταχύτητα* $\bar{v}$

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT_{κιν}}{m}} = \frac{2v_{pr}}{\sqrt{\pi}}$$

γ. *Τη μέση τετραγωνική ταχύτητα* υ_{rms}

$$v_{rms} = \overline{v^2} = \sqrt{\frac{3kT_{κιν}}{m}} = \sqrt{\frac{3v_{pr}}{2}}$$

όπου: μ είναι το μοριακό βάρος, m=η μάζα του σωματιδίου, R=η σταθερά των αερίων και k η σταθερά Boltzmann.

Η Ενεργός Θερμοκρασία ενός άστρου

Μετά από μακροχρόνιες αστρονομικές παρατηρήσεις καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι τα αστέρια συμπεριφέρονται με μεγάλη προσέγγιση σαν μέλανα σώματα διαφόρων θερμοκρασιών. Αυτό σημαίνει ότι η κατανομή της ενέργειας που εκπέμπει κάθε αστέρι, στα διάφορα μήκη κύματος, μπορεί να προσεγγιστεί με ακρίβεια από την κατανομή ενέργειας ενός θεωρητικού μέλανος σώματος μιας συγκεκριμένης θερμοκρασίας Τ.

Η θερμοκρασία αυτή ονομάζεται *ενεργός θερμοκρασία* (T_{eff}) του μελετώμενου άστρου.

Από τα προηγούμενα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ενεργός θερμοκρασία T_{eff} του άστρου είναι η θερμοκρασία μέλανος σώματος, της ίδιας ακτίνας με το αστέρι, που εκπέμπει ανά μονάδα επιφάνειας (cm^2) και χρόνου (sec), το ίδιο συνολικό

www.diavlosbooks.gr

ποσόν ενέργειας με το παρατηρούμενο από το αστέρι. Συνεπώς η ενεργός θερμοκρασία (T_{eff}) μετράει έμμεσα την ολική ακτινοβολία F, που εκπέμπεται από τη μονάδα επιφάνειας ενός άστρου στη μονάδα του χρόνου σε σχέση με τον νόμο Stefan-Boltzmann. Ως γνωστόν για ένα μέλαν σώμα η F συνδέεται με τη θερμοκρασία μέσω της σχέσεως:

$$F=\sigma T^4_{eff} \qquad (1)$$

Η ενεργός θερμοκρασία, όπως φαίνεται από την παραπάνω σχέση, αποτελεί ένα μέτρο της F. Αν το άστρο θεωρηθεί ως σφαίρα ακτίνας R, τότε η ενέργεια ανά μονάδα χρόνου (ισχύς) ή η φωτεινότητά του ισούται με:

$L=F\cdot 4\pi R^2$ και μέσω της (1) $L=4\pi R^2 \sigma T^4_{eff}$

ή γενικότερα: $\int f(\lambda)d\lambda = 4\pi R^2 \cdot \sigma T_{eff}^4$

$\sigma=5{,}6697\times10^{-5}$ erg cm^{-2} sec^{-1} $grad^{-4}$ είναι η σταθερά Stefan-Boltzmann.

Μέθοδοι υπολογισμού των ενεργών θερμοκρασιών

1. Άμεσος υπολογισμός

Η ενεργός θερμοκρασία μπορεί να υπολογιστεί άμεσα:

α) Αν γνωρίζουμε την ακτίνα του άστρου R, την απόστασή του από τη Γη r και τη ροή f της ολικής ακτινοβολίας του στο φάσμα, όπως την παρατηρούμε έξω από την ατμόσφαιρα της Γης σε $erg\cdot cm^{-2}\cdot s^{-1}$, τότε, η επιφανειακή λαμπρότητα F ανά μονάδα επιφάνειας (cm^2) και χρόνου (s) στην επιφάνεια του άστρου καθώς και η ενεργός θερμοκρασία του T_{eff} συνδέονται με τη σχέση:

$$F\cdot 4\pi R^2 = f\cdot 4\pi r^2 \Rightarrow F = f\frac{r^2}{R^2} \qquad (1)$$

www.ziavlosbooks.gr

Με δεδομένη την τιμή της F, η ενεργός θερμοκρασία μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση: $F = \sigma T_{eff}^4$, που μετασχηματίζεται

$$\text{στην: } T_{eff} = \left(\frac{F}{\sigma}\right)^{\frac{1}{4}} \qquad (2)$$

Στην πράξη, σπανίως μπορεί να υπολογιστεί η θερμοκρασία μ' αυτόν τον τρόπο, γιατί η ενεργειακή κατανομή των αστεριών δεν είναι πάντοτε εύκολα παρατηρήσιμη σε όλο το φάσμα τους, ούτε μπορούμε να προσδιορίσουμε την ακτίνα του άστρου R.
Η μοναδική περίπτωση όπου η T_{eff} υπολογίζεται άμεσα με ικανοποιητική ακρίβεια είναι ο Ήλιος, του οποίου η απόσταση και η ακτίνα είναι γνωστές.

β) Η πιο προσεγγιστική άμεση μέθοδος υπολογισμού της ενεργού θερμοκρασίας ενός άστρου, όπως θα δούμε στις επόμενες ενότητες, προκύπτει από το δείκτη χρώματός του C.I. (βλέπε δείκτης χρώματος, σελίδα.....):

$$T_{eff} = \frac{7200K}{C.I. + 0{,}64} + \sigma\tau\alpha\theta.$$

όπου η σταθερά έχει τέτοια τιμή ώστε αν εφαρμοστεί η παραπάνω σχέση για αστέρια φασματικού τύπου A0V, η T_{eff} να παίρνει την τιμή 9.900 K.
Η τελευταία σχέση, όμως, είναι προσεγγιστική και δίνει σχετικά καλά αποτελέσματα μόνο για άστρα φασματικών τύπων F και G (βλέπε: Φασματική ταξινόμηση, σελίδα....). Στους ακραίους φασματικούς τύπους και στα ιδιόμορφα αστέρια η σχέση αυτή δίνει πολύ μεγάλες αποκλίσεις από τις πραγματικές τιμές.
Καταλήγουμε, λοιπόν, στο συμπέρασμα ότι η ενεργός θερμοκρασία του άστρου είναι βασικό μέγεθος, που δεν παρατηρείται άμεσα. Την υπολογίζουμε θεωρητικά —εμμέσως— απομονώνοντας περιοχές του φάσματος και

www.diavgosbooks.gr

συγκρίνοντας τις κατανομές της ακτινοβολίας με κατάλληλα μοντέλα, όπως είναι τα μοντέλα του Kurucz (1981).

2. Έμμεσος υπολογισμός

Η ενεργός θερμοκρασία ενός άστρου υπολογίζεται και έμμεσα με διάφορους τρόπους. Ένας από αυτούς είναι ο υπολογισμός της από την κατανομή της ροής της ακτινοβολίας στο συνεχές φάσμα του άστρου σε σύγκριση με μοντέλα ατμοσφαιρών.

Το συνεχές φάσμα περιγράφεται χρησιμοποιώντας τα φαινόμενα μεγέθη m_λ στις περιοχές μηκών κύματος που γίνεται η παρατήρηση. Έστω, λοιπόν, ότι m_λ είναι το φαινόμενο μέγεθος ενός άστρου σε μια περιοχή μηκών κύματος με μέσο μήκος κύματος το λ. Εφ' όσον φαινόμενο μέγεθος και ροή της ακτινοβολίας συνδέονται μεταξύ τους λογαριθμικά, οι μετατροπές των δοθέντων τιμών των ροών της ακτινοβολίας στα φαινόμενα μεγέθη δίνονται από τη σχέση:

$$(m_\lambda - V) = -2{,}5 \log \frac{F_\lambda}{F_V} - 21{,}1$$

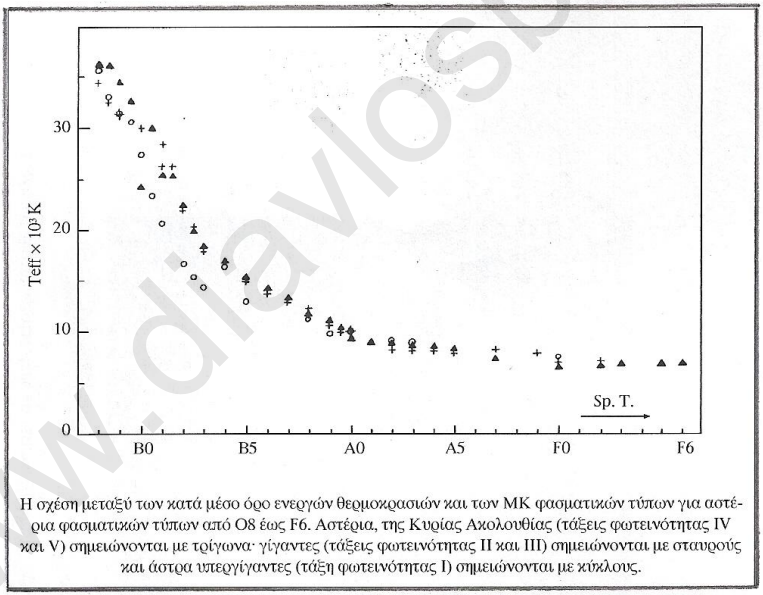
Ο υπολογισμός της ενεργού θερμοκρασίας ενός άστρου θα γίνει από αυτούς τους δείκτες χρώματος $(m_\lambda - V)$, που υπολογίζονται έτσι, ώστε για ένα άστρο φαινόμενου μεγέθους $V = 0{,}0$ μεγέθη, η ροή της ακτινοβολίας στο μήκος κύματος $\lambda = 5{,}556$ Å να αντιστοιχεί στην τιμή:

$$F_V = 3{,}64 \times 10^{-9} \frac{erg}{\sec \cdot cm^{-2} A}.$$

Κατόπιν, χρησιμοποιώντας τους νόμους της μεσοαστρικής απορρόφησης, υπολογίζονται οι διορθωμένοι από τη μεσοαστρική απορρόφηση δείκτες χρώματος $(m_\lambda - V)_0$.

www.diavlosbooks.gr

Στη συνέχεια, αποδίδουμε γραφικά τη σχέση $(m_\lambda - V)_0$ συναρτήσει του αντίστροφου μήκους κύματος $\frac{1}{\lambda}$, το οποίο και προτιμούμε λόγω καλύτερης διασποράς των σημείων στις αντίστοιχες καμπύλες. Τελικά, συγκρίνοντας τα διαγράμματά μας με τα κατάλληλα θεωρητικά μοντέλα αστρικών ατμοσφαιρών (μοντέλα του Kurucz), για διάφορες τιμές ενεργών θερμοκρασιών και λογαρίθμων της επιτάχυνσης της επιφανειακής βαρύτητας των άστρων, προσδιορίζουμε την ενεργό θερμοκρασία του άστρου για το οποίο έχουμε από παρατηρήσεις μόνο τις ροές της ακτινοβολίας του F_λ.

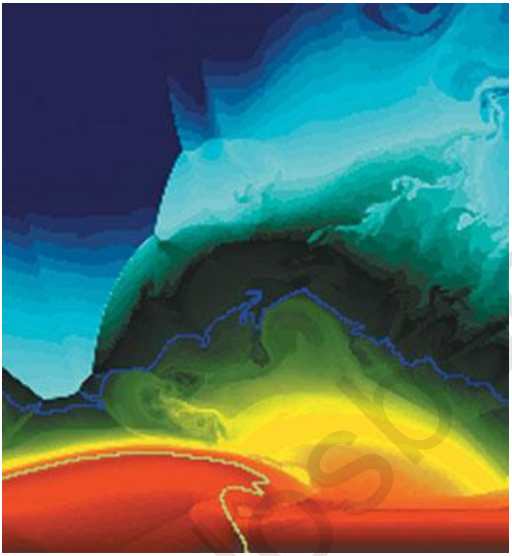


Η σχέση μεταξύ των κατά μέσο όρο ενεργών θερμοκρασιών και των ΜΚ φασματικών τύπων για αστέρια φασματικών τύπων από Ο8 έως F6. Αστέρια, της Κυρίας Ακολουθίας (τάξεις φωτεινότητας IV και V) σημειώνονται με τρίγωνα· γίγαντες (τάξεις φωτεινότητας II και III) σημειώνονται με σταυρούς και άστρα υπεργίγαντες (τάξη φωτεινότητας I) σημειώνονται με κύκλους.

\

www.diavlosbooks.gr

Ορισμός αστρικής ατμόσφαιρας



Τα άστρα με καλή προσέγγιση θεωρούνται μέλανα σώματα, γιατί αποτελούνται από διάπυρα αέρια —θερμοκρασίας πολλών χιλιάδων βαθμών Kelvin— και είναι σχεδόν αδιαφανή. Αυτή ακριβώς η αδιαφάνεια —η ικανότητα απορρόφησης της ακτινοβολίας— συντηρεί τις εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες στο εσωτερικό των άστρων και έτσι ευνοούνται οι συνθήκες παραγωγής ενέργειας σ' αυτήν την περιοχή του αστεριού. Αυτό συμβαίνει, διότι η ακτινοβολία μέχρι να φτάσει στην εξωτερική περιοχή του άστρου απορροφάται και επανεκπέμπεται συνεχώς, ενώ συγχρόνως παρουσιάζονται φαινόμενα σκέδασης και διάχυσης. Όταν, όμως, η ακτινοβολία φτάσει σε κάποιες εξωτερικές περιοχές του αστεριού, όπου η αδιαφάνεια είναι πολύ μικρότερη από το τελείως αδιαφανές εσωτερικό του,

www.ziovios-books.gr

διαφεύγει προς τον μεσοαστρικό χώρο. Η ακτινοβολία αυτή είναι η ενέργεια που φτάνει σε μας από τα διάφορα άστρα.
Η εξωτερική στιβάδα των αστεριών, απ' όπου είναι δυνατή η διαφυγή της ακτινοβολίας, λέγεται *φωτόσφαιρα* και αποτελεί μια οριακή περιοχή του αστεριού ανάμεσα στο αδιαφανές εσωτερικό του και στον μεσοαστρικό χώρο. Η στιβάδα εκείνη που αρχίζει από τη φωτόσφαιρα και φτάνει μέχρι τον μεσοαστρικό χώρο ονομάζεται *ατμόσφαιρα* του αστεριού. Συνεπώς η ακτινοβολία από κάποιον αστέρα που φτάνει στη Γη προέρχεται από τα επιφανειακά του στρώματα, που αποτελούν αυτό που ονομάζουμε ατμόσφαιρα του άστρου, δηλαδή τη φωτόσφαιρα και τα υπερκείμενά της αέρια στρώματα. Γενικά οι υπεργίγαντες αστέρες θεωρούνται ότι έχουν αραιές εκτεταμένες ατμόσφαιρες, το πάχος των οποίων εκτείνεται σε μερικές εκατοντάδες χιλιάδες χιλιόμετρα. Αντίθετα οι νάνοι αστέρες έχουν πυκνότερες ατμόσφαιρες που το πάχος τους είναι μόνον κάποιες εκατοντάδες χιλιόμετρα.
Ουσιαστικά δεν υπάρχει σαφές όριο μεταξύ της αστρικής ατμόσφαιρας και του εσωτερικού των άστρων*. Οι ίδιοι φυσικοί νόμοι διέπουν και τις δύο αυτές περιοχές των άστρων και ο διαχωρισμός έχει γίνει για τη διευκόλυνση των αστρονόμων. Τις μελετάμε, λοιπόν, ξεχωριστά, γιατί μόνο η ατμόσφαιρα μπορεί να παρατηρηθεί απ' ευθείας και επειδή ορισμένες προσεγγίσεις που ισχύουν για τη μία περιοχή μπορεί να μην ισχύουν για την άλλη.
Επίσης, επειδή η ατμόσφαιρα του άστρου είναι η «διαφανής» περιοχή του, οι πληροφορίες που έχουμε γι' αυτήν προέρχονται από τις αστρονομικές παρατηρήσεις. Αντίθετα, οι πληροφορίες που έχουμε για το εσωτερικό των άστρων προέρχονται από τη θεωρία (αστρικά μοντέλα).

---

* Μπορούμε να ορίσουμε σαν «επιφάνεια» ενός άστρου εκείνο το αστρικό στρώμα, από το οποίο η ακτινοβολία που παράγεται στο εσωτερικό του

www.diavlos.books.gr

μπορεί να διαφύγει προς τον μεσοαστρικό χώρο. Φυσικά αυτό το αστρικό στρώμα, πρέπει να είναι το πυκνότερο και θερμότερο από όλα τα υπερκείμενα στρώματα που αποτελούν την αστρική ατμόσφαιρα. Έτσι όπως ορίσαμε την επιφάνεια του αστεριού, η ακτινοβολία που αναδύεται από αυτήν μάς δίνει το λεγόμενο συνεχές φάσμα. Βέβαια, όπως είναι φυσικό, αυτή η ακτινοβολία διασχίζοντας τα αραιότερα και ψυχρότερα αστρικά ατμοσφαιρικά αέρια στρώματα απορροφάται εν μέρει και έτσι δημιουργείται το λεγόμενο γραμμικό φάσμα απορρόφησης.

Φασματική ταξινόμηση των άστρων*

Οι κύριες γνώσεις μας πάνω στη φυσική κατάσταση των αστεριών προκύπτουν μέσω της παρατήρησης των φασμάτων τους. Η ενέργεια που φθάνει τελικά σε μας με τη μορφή ακτινοβολίας οφείλεται κυρίως στις θερμοπυρηνικές αντιδράσεις που, όπως θα δούμε στα επόμενα, συμβαίνουν στο εσωτερικό τους. Η ενέργεια αυτή, περνώντας μέσα από τη μάζα του αστεριού πριν να βγει στο μεσοαστρικό διάστημα, διαπερνά το αραιό και λεπτό στρώμα της ατμόσφαιράς του, η οποία απορροφά ένα μέρος της. Έτσι, το τυπικό αστρικό φάσμα είναι ένα γραμμικό φάσμα απορρόφησης, μέσω του οποίου μπορούμε να πάρουμε πληροφορίες για τη θερμοκρασία, την πυκνότητα και τη χημική σύσταση της απορροφούσας ατμόσφαιρας και, σε προέκταση, του ίδιου του αστέρα που τη δημιούργησε.

Μελετώντας τις φασματικές εικόνες των αστεριών, οι αστρονόμοι κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι μολονότι τα αστέρια είναι τρισεκατομμύρια, εντούτοις ήταν δυνατόν να καταταχθούν σε λίγες κύριες κατηγορίες με βασικά κριτήρια, τη θέση των φασματικών γραμμών —δηλαδή το μήκος κύματός τους— τη λαμπρότητα και το εύρος τους.

www.studentbooks.gr



W.Huggins,
1824-1910

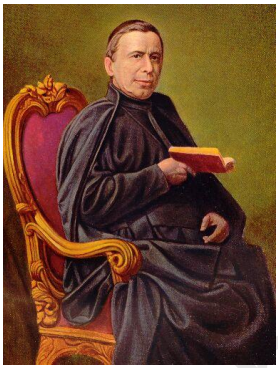
Μία από τις πιο ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις έγινε το 1863 από τον Βρετανό αστρονόμο *Γουίλιαμ Χάγκινς (W. Huggins, 1824-1910),* ο οποίος απέδειξε ότι οι φασματικές γραμμές των αστεριών και του Ήλιου συνέπιπταν με τις γραμμές φασμάτων χημικών στοιχείων της Γης, αυτό σήμαινε ότι τα ουράνια σώματα ήταν κατασκευασμένα από τα ίδια στοιχεία με αυτά της Γης. Ο Χάγκινς θεωρείται πρωτοπόρος στη χρήση της φασματοσκοπίας για τον καθορισμό της χημικής σύστασης των αστεριών.

Φαίνεται παράδοξο, αλλά η πρώτη προσπάθεια ταξινόμησης των φασμάτων των άστρων έγινε από το Βατικανό —που αρχικά είχε τηρήσει εχθρική στάση προς την Αστρονομία— και παρουσιάστηκε το 1868. Με εντολή τής Αγίας Έδρας, ο πενηντάχρονος Ιησουΐτης μοναχός και αστρονόμος *Άντζελο Σέκι (Angelo Secchi, 1818-1878),* μελέτησε τα φάσματα 4.000 περίπου αστεριών σε διάστημα

πέντε ετών και τα κατέταξε σε τέσσερις βασικές κατηγορίες, που σχετίζονταν κυρίως με το χρώμα του άστρου, καθώς και με

www.diavlos.books.gr

τη θέση, το πλάτος, τον αριθμό και τον βαθμό αμαύρωσης των γραμμών απορρόφησης



Angelo Secchi,
(1818-1878)

. Οι τύποι αυτοί πήραν τη λατινική αρίθμηση I, II, III, IV και είχαν τα πιο κάτω χαρακτηριστικά:

Τύπος Ι: Άστρα λευκά, υπογάλανα ή γαλάζια, όπως είναι ο Σείριος, ο Βέγας, ο Ρίγκελ, ο Αλτάιρ κ.ά. Στο φάσμα των αστέρων αυτού του τύπου επικρατούν έντονες γραμμές απορρόφησης υδρογόνου.

Τύπος ΙΙ: Άστρα κίτρινα ή πορτοκαλί, όπως ο Ήλιος, ο Αρκτούρος, ο Λαμπαδίας, η Αίγα, ο Πολυδεύκης κ.ά. Το φάσμα τους, όπως το αντίστοιχο ηλιακό, παρουσίαζε πολλές φασματικές γραμμές απορρόφησης μετάλλων.

Τύπος ΙΙΙ: Άστρα χρώματος πορτοκαλί ή κόκκινου με πυκνά συστήματα λεπτών γραμμών απορρόφησης που μοιάζουν με ταινίες. Στον τύπο αυτόν ανήκουν τα άστρα Μπετελγκέζ, Αντάρης, α Ηρακλέους κ.ά.

www.kallipos.books.gr

Τύπος IV: Άστρα αμυδρά, κόκκινα, που παρουσιάζουν γραμμές απορρόφησης του άνθρακα.

Μετά τη δημοσίευση της φασματικής ταξινόμησης του Σέκι, ακολούθησαν η ανακάλυψη της φωτογραφικής μηχανής, της φωτογραφικής πλάκας και των φωτογραφικών εφαρμογών στις αστρικές παρατηρήσεις που έλυσαν πολλά παρατηρησιακά προβλήματα των αστρονόμων. Τώρα πια οι αστρονόμοι δεν παρατηρούσαν με τις ώρες τα ουράνια σώματα με το μάτι τους κολλημένο στο τηλεσκόπιο· απλώς μελετούσαν με την ησυχία τους τα φάσματα των αστεριών, όπως αυτά είχαν αποτυπωθεί πάνω στις φωτογραφικές πλάκες, μέσα στην ηρεμία και τη θαλπωρή των γραφείων τους.

Ο πρώτος που κατόρθωσε να φωτογραφίσει, το 1872, το φάσμα ενός αστεριού —του λαμπρού Βέγα— ήταν ο *Χένρι Ντρέιπερ* (*Henry Drapper, 1837-1882)* χρησιμοποιώντας ένα σύστημα φασματοσκοπίου εφοδιασμένου με μια φωτογραφική μηχανή, που το ονόμασε *φασματογράφο*. Με τον τρόπο αυτόν μελέτησε τα φάσματα 80 και πλέον αστεριών.

Μετά τον θάνατό του από πλευρίτιδα, το 1882, σε ηλικία μόλις 45 ετών, η χήρα του *Άννα Ντρέιπερ (Ann Drapper)* ίδρυσε ένα ίδρυμα σε μνήμη του συζύγου της, το οποίο χρηματοδότησε με 400.000 δολάρια το Αστεροσκοπείο του Κολεγίου Χάρβαρντ, προκειμένου να συνεχιστούν και να ολοκληρωθούν οι μελέτες του συζύγου της.

Η φασματική ταξινόμηση του Harvard

Τις πρώτες περιόδους της μελέτης των αστρικών φασμάτων, διάχυτη ήταν η άποψη ότι οι διαφορές τους οφείλονταν αποκλειστικά και μόνον στη διαφορετική χημική τους σύσταση. Ως εκ τούτου οι πρώτες προσπάθειες ταξινόμησης των αστρικών φασμάτων έγιναν με μοναδικό κριτήριο την εσφαλμένη αυτή εντύπωση.

www.diavlosbooks.gr

Αργότερα, όμως, όταν έγινε κατανοητός ο σημαντικός ρόλος της ενεργού θερμοκρασίας στη διαμόρφωση ενός αστρικού φάσματος, οι φασματικές ταξινομήσεις άρχισαν να γίνονται λαμβάνοντας υπόψη το νέο αυτό κριτήριο.

Συνοψίζοντας μπορούμε να πούμε ότι τα αστρικά φάσματα διακρίνονται σε λίγες βασικές κατηγορίες με κριτήριο την ποιότητα, την ένταση και το εύρος των γραμμών απορρόφησής τους σε κάποια συγκεκριμένη και προεπιλεγμένη φασματική περιοχή, ίδια για όλα τα αστέρια.

Γενικά, σ' ένα οποιοδήποτε σύστημα ταξινόμησης αστρικών φασμάτων πρέπει να πληρούνται τα τέσσερα επόμενα βασικά κριτήρια.

1. Να υπάρχει μία συγκεκριμένη και κοινή για όλα τα άστρα φασματική περιοχή, της οποίας τα γενικά χαρακτηριστικά του φάσματος θα χρησιμοποιηθούν για την ταξινόμηση.

Ως τέτοια περιοχή συνήθως επιλέγεται η ορατή, εφ' όσον το μεγαλύτερο μέρος των αστρικών φασμάτων έχουν καταγραφεί μέσω επίγειων τηλεσκοπίων σ' αυτήν ακριβώς την περιοχή

2. Να υπάρχουν στα αστρικά φάσματα πολλές φασματικές γραμμές, έτσι ώστε να μελετηθεί η εμφάνιση ή η απουσία ορισμένων χαρακτηριστικών γραμμών απορρόφησης. Αυτές θα βοηθήσουν ουσιαστικά στην ταξινόμηση και στην αναγνώριση των διαφορετικών τύπων αστεριών.

3. Να χρησιμοποιηθούν πολλά αστρικά φάσματα, ώστε να υπάρχει μεγάλος αριθμός πρότυπων αστεριών, και

4. Να γίνει βαθμολόγηση των διαφόρων τύπων ως προς τα φυσικά χαρακτηριστικά των αστεριών.

Εφ' όσον η ένταση των φασματικών γραμμών εξαρτάται, όπως ήδη είδαμε (βλέπε: διέγερση και ιονισμός, σελίδα.....), από την ενεργό θερμοκρασία της αστρικής ατμόσφαιρας, η ταξινόμηση των αστεριών έγινε με την παράλληλη κάλυψη όλου του εύρους των θερμοκρασιών. Έτσι κάθε φασματικός τύπος αντιστοιχεί σε

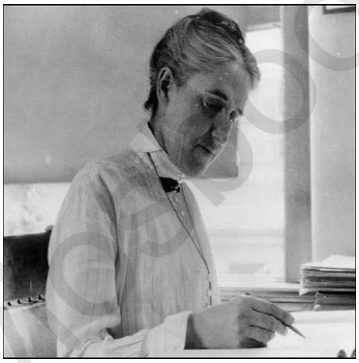
www.diavlos.gr

ορισμένη ενεργό θερμοκρασία, που βαίνει ελαττούμενη μ' αυτόν στις δεκαδικές υποδιαιρέσεις του.

Στις αρχές του αιώνα μας η ερευνητική ομάδα του Harvard, υπό τη διεύθυνση του *Edward Pickering* (1846-1919) και με κύριους ερευνητές την *Henrietta Leavitt,* (1868-1921) την *Antonia Mori*, τη *Williamina Fleming* (1857-1911) και την *Anni Jump Cannon* (1863-1941) ανέλυσε και μελέτησε —μέσω αστρονομικών φωτογραφικών πλακών— τα φάσματα 225.300 άστρων μέχρι 12ου μεγέθους.



Edward Pickering
(1846-1919)



Henrietta Leavitt
(1868-1921)



Williamina Fleming
(1857-1911)



Anni Jump Cannon
(1863-1941)

www.diavgeiabooks.gr

Αποτέλεσμα των εργασιών της ήταν να εκδοθεί, μεταξύ των ετών 1918 και 1928, σε 9 τόμους ο *Henry Drapper Catalogue (H.D.)* —προς τιμήν του πρωτοπόρου *Henry Drapper*— με τις θέσεις, τα φαινόμενα μεγέθη και τους φασματικούς τύπους αυτών των άστρων. Σύμφωνα με την ταξινόμηση του *Harvard,* όπως ονομάστηκε, τα αστρικά φάσματα χωρίστηκαν σε επτά κύριες κατηγορίες, με βάση τη συνεχή μεταβολή των γραμμών απορρόφησης, που ονομάστηκαν με τα ακόλουθα επτά κεφαλαία γράμματα του λατινικού αλφαβήτου:

O, B, A, F, G, K, M

Η ακολουθία αυτή συμπληρώθηκε αργότερα με μερικούς πλευρικούς φασματικούς τύπους, που αντιστοιχούσαν σε αστέρια με κάποιες χαρακτηριστικές γραμμές μετάλλων. Έτσι η σειρά των φασματικών τύπων πήρε τη μορφή:

C(R,N)

O- B- A- F- G- K- M

S

Κύρια χαρακτηριστικά της ορατής περιοχής των αστρικών φασμάτων για διάφορους φασματικούς τύπους

Τύπος	Θερμοκρασία	Χαρακτηριστικά φάσματος
W	50.000 K	Αστέρες Wolf-Rayet.
P	50.000 K	Φάσμα νεφελωμάτων και όχι άστρων. Συνήθως φάσμα εκπομπής.
Q	50.000 K	Καινοφανείς (novae). Φάσμα εκπομπής· γραμμές υδρογόνου, ηλίου, αλλά και μετάλλων (Ca, Na, Mg, Fe).
O	50.000 K	Κυανόλευκοι αστέρες, γραμμές ισχυρώς ιονισμένων ατόμων HeII, SiIV, NiII. Συνεχές φάσμα ισχυρό στο υπεριώδες.
B0	25.000 K	Ελαφρά κυανοί αστέρες.

www.diavlos-books.gr

Κύρια χαρακτηριστικά της ορατής περιοχής των αστρικών φασμάτων για διάφορους φασματικούς τύπους

Τύπος	Θερμοκρασία	Χαρακτηριστικά φάσματος
B5	15.500 K	Έντονες γραμμές HeI και εντονότερες SiII.
A0	11.000 K	Λευκοί αστέρες, υδρογόνο στο μέγιστο, HeI απουσιάζει.
A5	8.700 K	Υδρογόνο ακόμα έντονο.
F0	7.600 K	Κιτρινόλευκοι αστέρες.
F5	6.600 K	Το CaII πολύ έντονο. Αρχίζουν να εμφανίζονται οι φασματικές γραμμές μετάλλων.
G0	6.000 K	Κίτρινοι αστέρες όμοιοι με τον Ήλιο. CaII στο μέγιστο. Πολλές γραμμές FeI. Οι γραμμές απορρόφησης ατόμων και ιόντων μετάλλων γίνονται πλέον εμφανείς.
G5	5.500 K	CaII εξακολουθεί να είναι έντονο.
K0	5.100 K	Ερυθροκίτρινοι αστέρες. Ο τύπος του φάσματος των ηλιακών κηλίδων. Επικρατούν οι γραμμές των μετάλλων. Ασθενές συνεχές φάσμα στην μπλέ περιοχή.
M0	3.600 K	Ερυθροί αστέρες. Ουδέτερες γραμμές έντονες.
M5	3.000 K	Έντονες γραμμές CaI. Αρχίζουν να διακρίνονται μοριακές ενεργειακές ζώνες οξειδίου του τιτανίου.
N	2.000 K	Αστέρες άνθρακα. Ταινίες CO και HCN (S Cep, V Cyg, V Hya).
R	2.000 K	Αμυδρά άστρα άνθρακα ελαφρώς ερυθρά. Έντονες μοριακές ταινίες της ελεύθερης ρίζας CH.
S	2.000 K	Ταινίες οξειδίων του ζιρκονίου (ZrO), τιτανίου (Ti0), υττρίου (YO) και λανθανίου (LaO), καθώς και άλλων σπάνιων γαιών, όπως τεχνίτιο. Έντονες μοριακές ταινίες της ελεύθερης ρίζας CN. Ο τύπος S περιλαμβάνει μεταβλητούς αστέρες μακράς περιόδου (R And, R Cyg, R Gem).

www.diavlosbooks.gr

Μια ολόκληρη γενιά αστρονόμων και φοιτητών προκειμένου να απομνημονεύσουν τη σειρά των φασματικών τύπων θυμόντουσαν τα αρχικά των λέξεων της επόμενης φράσης:

Oh **B**e **A** **F**ine **G**irl, **K**iss **M**e **R**ight **N**ow **S**mack
(Ω, γίνε ένα καλό κορίτσι, φίλησέ με αμέσως τώρα ηχηρά).

Όλοι οι φασματικοί τύποι, από τον O έως και τον M, στους οποίους ανήκει το σύνολο σχεδόν των άστρων, αποτελούν συνεχή ακολουθία. Μεταξύ δύο διαδοχικών φασματικών τύπων, για παράδειγμα των B και A, διακρίνονται 10 ενδιάμεσοι: B0, B1, B2,....., B9, A0,.... κ.ο.κ.

Σήμερα υπάρχουν και οι δεκαδικές υποδιαιρέσεις τους: B0.5, B1.5, B2.5,...., B9.5, A0 κ.ο.κ. Ειδικά στην περίπτωση των άστρων που ανήκουν στον φασματικό τύπο O υπάρχουν οι τύποι από O3 μέχρι O9.5 και όχι οι O0, O1, O2, αφού οι αστέρες που ανήκουν στην τάξη O3 έχουν φάσματα με το υψηλότερο επίπεδο διέγερσης και ιονισμού.

Τα φάσματα των άστρων φασματικών τύπων O, B χαρακτηρίζονται ως φάσματα των θερμών μπλε προγενέστερων τύπων, των A, F των λευκών, των G των πορτοκαλί και τελικά των K και M χαρακτηρίζονται ως φάσματα των ψυχρών κόκκινων μεταγενέστερων τύπων. Η διάκριση αυτή, δηλώνει απλώς και μόνον τη σχετική θέση των φασμάτων των άστρων στην ταξινόμηση του Harvard. Οι αστέρες των τύπων R και N είναι γνωστοί ως αστέρες άνθρακα και σήμερα είναι ενσωματωμένοι στον φασματικό τύπο C.

Η ονομασία προγενέστεροι ή μεταγενέστεροι δεν έχει ούτε υπονοεί καμιά απολύτως σχέση με την ηλικία των άστρων.

Στη συνέχεια προστέθηκαν οι φασματικοί τύποι W, P και Q στο μπλε άκρο της ακολουθίας. Οι αστέρες του τύπου W παρουσιάζουν ευρείες γραμμές εκπομπής (αστέρες Wolf-Rayet).

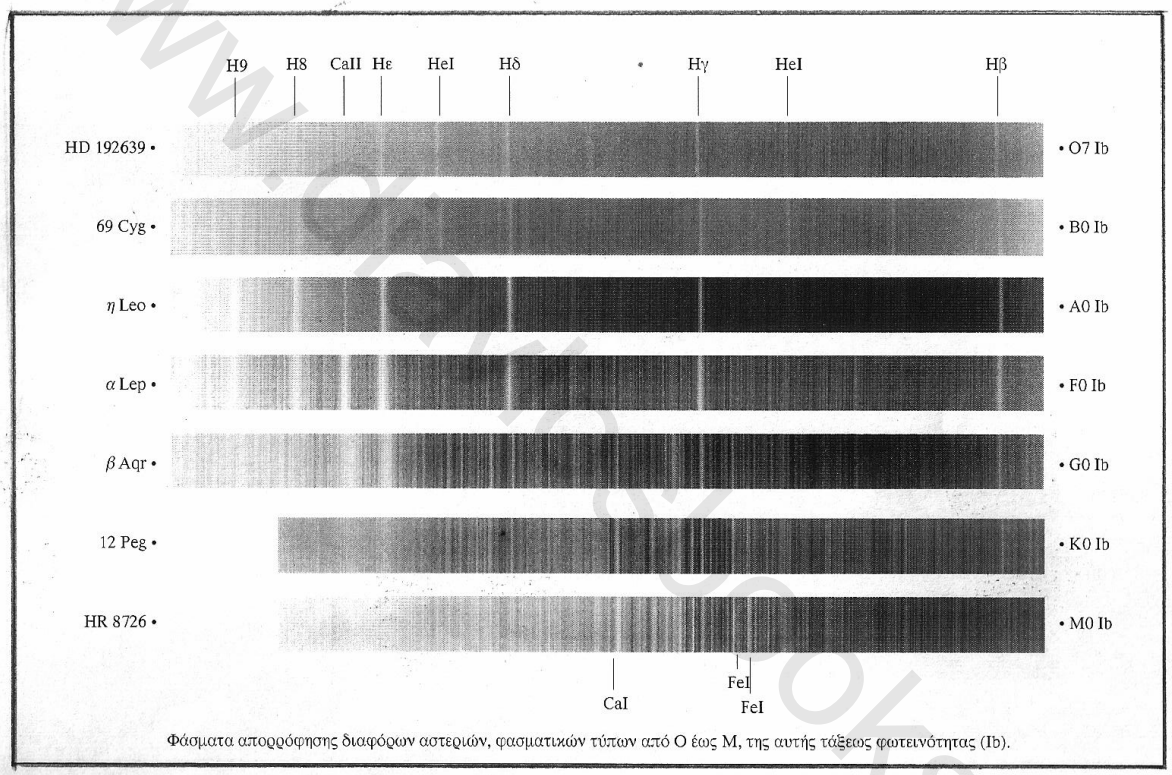
www.ziovicbooks.gr

Στον τύπο P ανήκουν οι νεφελοειδείς και τα πλανητικά νεφελώματα, ενώ στον τύπο Q ανήκουν οι καινοφανείς αστέρες (novae).
Η πλήρης, λοιπόν, φασματική ταξινόμηση περιλαμβάνει την ακολουθία:

C(R, N)
O- B- A- F- G- K- M
W–P–Q S

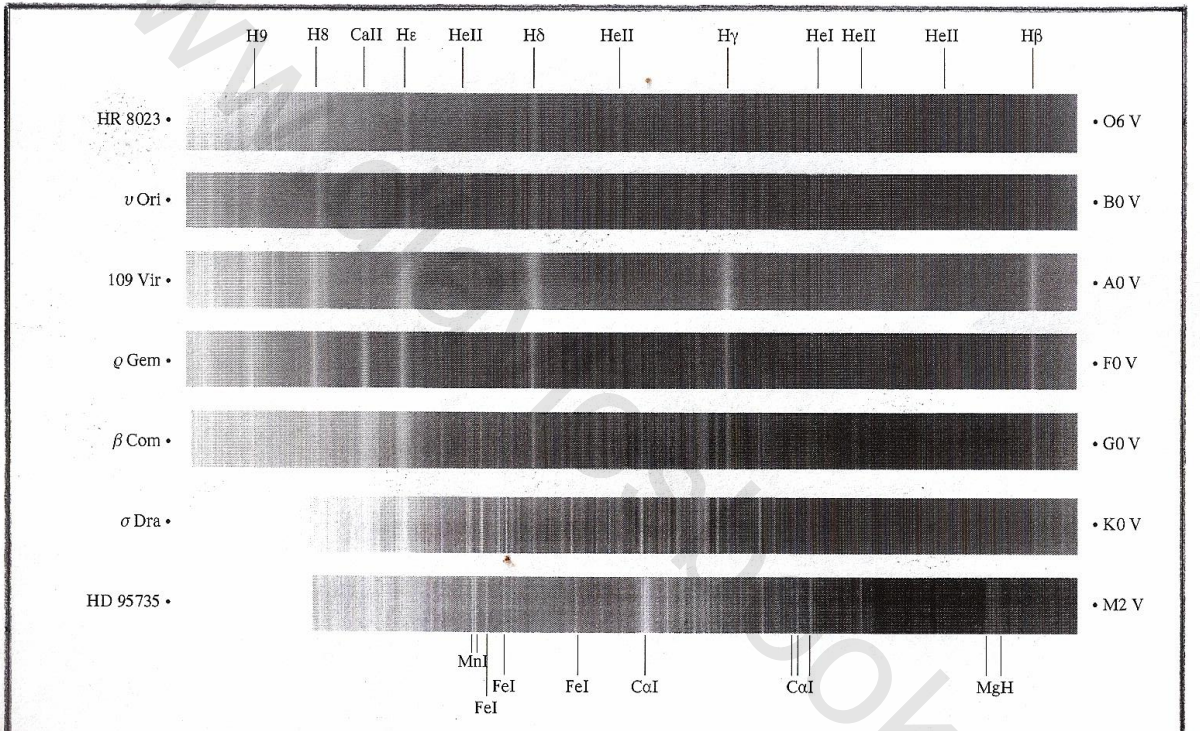
Η ακολουθία των επτά αρχικά κύριων φασματικών τύπων αντιστοιχεί σε ακολουθία ελαττούμενης θερμοκρασίας από 50.000 K στον τύπο O3 μέχρι τις 3.000 K στον τύπο M. Επίσης παρατηρείται συνεχής μεταβολή χρώματος από το μπλε στον τύπο O μέχρι το κόκκινο στον τύπο M. Αυτό συμβαίνει, γιατί, όπως θα δούμε, το χρώμα είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας του αστεριού.
Τα κύρια χαρακτηριστικά των φασμάτων των διαφόρων τύπων αστεριών στην ορατή περιοχή του φάσματος δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

www.diavlosbooks.gr



Φάσματα απορρόφησης διαφόρων αστεριών, φασματικών τύπων από Ο έως Μ, της αυτής τάξεως φωτεινότητας (Ib).

www.oranosbooks.gr



Φάσματα απορρόφησης διαφόρων αστεριών φασματικών τύπων από Ο έως Μ, της αυτής τάξεως φωτεινότητας (V).

www.schoolbooks.gr

Φασματική ταξινόμηση του Yerkes

Η ταξινόμηση του Harvard δεν είναι πλήρης. Είναι μια μονοδιάστατη εμπειρική ταξινόμηση, που μας δείχνει μόνο τον φασματικό τύπο στον οποίον ανήκει ένα άστρο.
Τα αστρικά φάσματα, όμως, παρουσιάζουν διαφορές ως προς την ένταση των γραμμών απορρόφησης ακόμα και για τον ίδιο φασματικό τύπο. Αυτό εξαρτάται από την εξελικτική κατάσταση του αστεριού, την κατάσταση διέγερσης και ιονισμού των ατόμων των στοιχείων στην ατμόσφαιρά του, το πάχος της ατμόσφαιρας, τη μάζα του άστρου, την ύπαρξη ή μη μαγνητικών πεδίων κ.ά. Το πρόβλημα είναι εξαιρετικά πολύπλοκο από την πλευρά των υπολογισμών και, κυρίως, σε ό,τι αφορά τα σχετικά δεδομένα, έτσι , δεν έχουν εξηγηθεί ακόμα οι διαφορές των αστρικών φασμάτων σε όλες τις περιπτώσεις.
Για τον λόγο αυτόν προστέθηκε μια επιπλέον παράμετρος, η τάξη φωτεινότητας. Μ' αυτόν τον τρόπο, όλα τα αστέρια χωρίστηκαν και σε τάξεις φωτεινότητας (ή πραγματικής λαμπρότητας), μια ποσότητα που αντιστοιχεί και αντιπροσωπεύει την εξελικτική κατάσταση του αστεριού. Οι τάξεις αυτές συμβολίζονται με λατινικούς αριθμούς από το I έως το VI (Σχήμα ....), που μπαίνουν μετά το σύμβολο του φασματικού τύπου.
Αναλυτικά οι τάξεις φωτεινότητας είναι:
Τάξις I: Υπεργίγαντες. Η τάξη αυτή χωρίζεται σε δύο υποτάξεις:

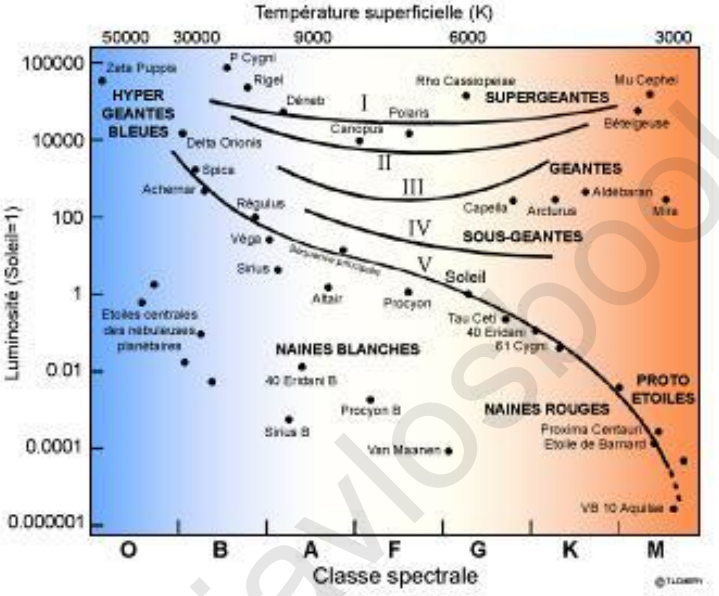
I_a: φωτεινότεροι ή πραγματικά λαμπρότεροι υπεργίγαντες.

I_b: λιγότερο φωτεινοί ή αμυδρότεροι υπεργίγαντες.

Τάξις II: Πραγματικά λαμπροί γίγαντες.
Τάξις III: Κανονικοί γίγαντες.
Τάξις IV: Υπογίγαντες.

www.diavlos.gr

Τάξις V: Αστέρες της Κυρίας Ακολουθίας, νάνοι αστέρες.
Τάξις VI: Υπονάνοι αστέρες· δηλαδή αστέρες μικρότερης φωτεινότητας από τους αστέρες της Κυρίας Ακολουθίας.



Τέλος, αυτό που θα πρέπει να σημειώσουμε είναι το εξής: όταν στα κείμενά μας αναφερόμαστε σε νάνους αστέρες, εννοούμε αστέρες τάξης φωτεινότητας ίσης με εκείνη των αστέρων της Κυρίας Ακολουθίας και όχι τους λευκούς νάνους, αστέρες δηλαδή, που όπως θα δούμε στη συνέχεια, στον πυρήνα τους έχουν πάψει να δημιουργούνται πυρηνικές αντιδράσεις και, ως εκ τούτου, οδηγούνται σ' έναν δρόμο αστρικού θανάτου.

Στη βελτιωμένη αυτή δισδιάστατη ταξινόμηση χρησιμοποιούνται δύο παράμετροι: ο φασματικός τύπος και η τάξη φωτεινότητας· επειδή, μάλιστα έγινε στο Αστεροσκοπείο του Yerkes, είναι γνωστή με το όνομα *ταξινόμηση του Yerkes* ή

www.diavlospooks.gr

ταξινόμηση MK (1942), από τα αρχικά των επωνύμων των διάσημων αστρονόμων Morgan και Keenan, οι οποίοι τη θεμελίωσαν. Οι Morgan και Keenan μελέτησαν φάσματα καλύτερης ποιότητας από τους αστρονόμους του Harvard και έλαβαν υπόψη τους —εκτός από την ένταση των γραμμών απορρόφησης— και άλλα χαρακτηριστικά των αστρικών φασμάτων, πολλά από τα οποία —για κάθε έναν φασματικό τύπο ξεχωριστά— παρουσιάστηκαν στον προηγούμενο πίνακα. Σύμφωνα με την ταξινόμηση MK ένα άστρο συμβολίζεται με το γράμμα και με τον αριθμό του φασματικού του τύπου, καθώς επίσης και με τον λατινικό αριθμό της τάξης φωτεινότητάς του. Έτσι, αστέρας M4V σημαίνει ψυχρός, κόκκινος αστέρας φασματικού τύπου M4 και τάξης φωτεινότητας V, δηλαδή νάνος, ενώ αστέρι M4III σημαίνει ίδιος φασματικός τύπος, αλλά αστέρι γίγαντας. Επόμενο είναι, λοιπόν, η ένταση των γραμμών απορρόφησης στα αστέρια να είναι διαφορετική για διαφορετικές τάξεις φωτεινότητας, ακόμα κι αν ο φασματικός τύπος είναι ο ίδιος.

Όπως ήδη έχουμε αναφέρει, τόσο η κατάσταση διέγερσης όσο και η κατάσταση ιονισμού εξαρτώνται κυρίως από τη θερμοκρασία, αλλά και από την πίεση του αερίου. Συνεπώς τα άστρα με πιο αραιές ατμόσφαιρες, όπως οι υπεργίγαντες, εμφανίζουν στα φάσματά τους γραμμές λεπτότερες από τις αντίστοιχες των νάνων, στις ατμόσφαιρες των οποίων επικρατεί μεγαλύτερη πίεση. Εκτενέστερα, παρατηρώντας σε δύο άστρα προγενέστερων φασματικών τύπων —έναν υπεργίγαντα και έναν νάνο— τις αντίστοιχες γραμμές Balmer του υδρογόνου, θα δούμε ότι οι γραμμές αυτές είναι μικρές σε μήκος και στενές για τον υπεργίγαντα, ενώ αντίθετα για τον νάνο είναι μεγάλες σε μήκος και φαρδειές. Και αυτό βέβαια είναι ένα κριτήριο για την ταξινόμηση των άστρων προγενέστερων φασματικών τύπων σε τάξεις φωτεινότητας. Για να αναγνωρίσουμε τα μεταγενέστερα

άστρα φασματικών τύπων G και K εξετάζουμε την ένταση και το πλάτος της διπλής γραμμής του ιονισμένου ασβεστίου (CaII) στα 3.934 A και στα 3.968 A.

Φασματικά προθέματα
Για τον επιπλέον χαρακτηρισμό παρατηρούμενων ιδιομορφιών στο φάσμα ορισμένων αστεριών χρησιμοποιούνται διάφορα προθέματα, όπως:
m (metallic)=ιδιόμορφη ένταση μεταλλικών γραμμών.
n (nebulous)=διάχυτες πλατειές γραμμές, ενώ διπλό πρόθεμα nn σημαίνει εντονότερο το ίδιο φαινόμενο.
s (sharp)=οξείες σαφείς γραμμές.
e (emission)=γραμμές εκπομπής.
v (variable)=μεταβλητό φάσμα αστεριών.
pec (peculiar)=ιδιόμορφο φάσμα.

Ας δούμε όμως μερικά γενικά χαρακτηριστικά με τα οποία προσδιορίζουμε τους διάφορους φασματικούς τύπους άστρων.
α) Στα θερμά προγενέστερα αστέρια, τύπου O με T_{eff}>25.000 K εμφανίζονται οι γραμμές ατόμων που έχουν ιονιστεί πολλές φορές, κυρίως όμως εμφανίζονται οι γραμμές του ιονισμένου HeII. Το HeII απαιτεί θερμοκρασία ιονισμού πάνω από 30.000 K γι' αυτό εμφανίζεται μόνο στον τύπο O. Οι γραμμές Balmer του υδρογόνου είναι ασθενείς.
Στον φασματικό τύπο B με 11.000 K</T_{eff}</25.000 K εμφανίζονται οι γραμμές Balmer του ουδετέρου υδρογόνου HI. Γραμμές HeII δεν υπάρχουν· είναι όμως ισχυρές οι γραμμές του ουδετέρου HeI. Στον φασματικό τύπο A με 7.500</T_{eff}</11.000K οι γραμμές Balmer του HI παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη έντασή τους. Αυτό ήταν αναμενόμενο, γιατί γύρω στους 10.000 K οι συνθήκες είναι οι ευνοϊκότερες για την εμφάνιση των γραμμών Balmer του HI. Γι' αυτό και το μέγιστό

www.crayosbooks.gr

τους εμφανίζεται στους αστέρες φασματικού τύπου Α. Όσον αφορά τη διάκριση σε τάξεις φωτεινότητας, οι γραμμές Balmer του ΗΙ στο γραμμικό φάσμα, όπως ήδη έχουμε αναφέρει, είναι ευρείες στους νάνους, λεπτές στους γίγαντες και ακόμα λεπτότερες στους υπεργίγαντες.
Εμφανίζονται επίσης ασθενείς γραμμές ιόντων μετάλλων, όπως του ιονισμένου ασβεστίου.
β) Στον φασματικό τύπο F, με 6.000 K</T_{eff}</7.500 K και ιδιαίτερα στον τύπο G, με 5.000 K</T_{eff}</6.000 K, είναι έντονη η διπλή γραμμή του ιονισμένου ασβεστίου (CaII) στα 3.934 Α και 3.968 Α, ενώ η ένταση των γραμμών τού ΗΙ εξασθενεί στον τύπο F και ακόμα περισσότερο στον τύπο G.
γ) Στον φασματικό τύπο K, με 3.500 K</T_{eff}</5.000 K είναι έντονες οι γραμμές των μετάλλων, ενώ εμφανίζονται και ταινίες μορίων. Επίσης η διπλή γραμμή του ιονισμένου ασβεστίου (CaII) στα 3.934 Α και 3.968 Α είναι λιγότερο έντονη απ' ό,τι στον τύπο G.
Στα πολύ ψυχρά μεταγενέστερα άστρα τύπου Μ, με 2200 K</T_{eff}</3500 K, εμφανίζονται οι γραμμές ουδετέρων ατόμων. Ιδιαίτερα είναι έντονες οι γραμμές του ουδετέρου ασβεστίου CaI, λ4.227 Α, γιατί τα άτομα του ασβεστίου απαιτούν σχετικά λίγη ενέργεια για ιονισμό.
Το ουδέτερο ασβέστιο CaI (λ4.227 Α) αναμένεται πιο έντονο σε νάνο απ' ό,τι σε γίγαντα αστέρα φασματικού τύπο Μ. Οι γραμμές του σιδήρου είναι εξίσου έντονες στον γίγαντα και στον νάνο φασματικού τύπου Μ, ενώ το ιονισμένο Στρόντιο (λ4.215 Α) είναι εντονότερο στον γίγαντα.
Τα άστρα φασματικών τύπων R και N παρουσιάζουν στο φάσμα τους υψηλές περιεκτικότητες σε άνθρακα και χαρακτηρίζονται από έντονες ταινίες ενώσεων του άνθρακα (CN, CO). Γι' αυτόν τον λόγο τα άστρα που ανήκουν σ' αυτούς τους φασματικούς

τύπους χαρακτηρίζονται σαν άστρα άνθρακα και σήμερα κατατάσσονται στον κοινό φασματικό τύπο C.

Τα ψυχρά άστρα φασματικού τύπου S χαρακτηρίζονται από έντονες ταινίες οξειδίου του ζιρκονίου (ZiO). Εκτός των άλλων, όμως, περιέχουν ραδιενεργό τεχνίτιο. Αυτό σημαίνει ότι στη φωτόσφαιρά τους κατά πάσαν πιθανότητα έχουν φτάσει πυρηνικά παράγωγα από το εσωτερικό τους. Δηλαδή η φωτόσφαιρά τους —πράγμα γενικά σπάνιο— έχει εμπλουτιστεί με ύλη από το εσωτερικό τους.

Τελικά βλέπουμε ότι οι γραμμές των ουδετέρων στοιχείων εμφανίζονται έντονες στις χαμηλότερες θερμοκρασίες· ειδικότερα τα ουδέτερα μέταλλα —που έχουν χαμηλό δυναμικό ιονισμού, δηλαδή ιονίζονται εύκολα— θα εμφανίζονται στα ψυχρά αστέρια.

Φασματικός τύπος	Τάξεις φωτεινότητας	T_{eff} (K)	s.d. (K)	No.	Άλλοι ερευνητές		
					T_{eff} (K)	s.d. (K)	No.
O8	IV, V	35.660	1.738	5	35.000[a]	–	–
	II, III	34.350	2.335	9	35.290	120	3[d]
	I	35.600	1.854	4	34.420	70	2[d]
O8.5	IV, V	35.280	2.139	5	–	–	–
	II, III	32.360	904	6	34.075	–	1[d]
	I	33.040	1.463	5	33.510	–	1[d]
O9	IV,V	34.550	1.304	6	34.220	130	2[d]
	II, III	31.625	809	4	–	–	–
	I	31.430	1.030	8	33.140	–	1[d]
O9.5	IV, V	32.830	1.129	8	31.560	–	1[d]
	II, III	–	–	–	–	–	–
	I	30.640	1.443	10	29.910	950	3[d]

www.simosbooks.gr

Φασματικός τύπος	Τάξεις φωτεινότητας	$T_{\rm eff}$ (K)	s.d. (K)	No.	Άλλοι ερευνητές		
					$T_{\rm eff}$ (K)	s.d. (K)	No.
B0	IV, V	29.230	208	3	30.780	–	1[d]
	II, III	30.000	0	2	–	–	–
	I	27.130	4.202	6	25.090	–	1[d]
B0.5	IV, V	30.025	2.160	4	29.270	240	2[d]
	II, III	28.370	1.977	4	27.470[e]	–	1[d]
	I	23.525	1.123	4	24.500	–	–
B1	IV, V	25.570	3.652	10	26.900	830	2[d]
	II, III	26.105	1.779	7	26.320	730	4[d]
	I	20.860	1.925	8	19.790	60	2[d]
B1.5	IV, V	25.340	2.164	8	25.720	440	3[d]
	II, III	26.260	3.524	3	24.750	730	2[d]
	I	–	–	–	–	–	–
B2	IV, V	22.400	1.393	28	22.820	170	14[d]
	II, III	22.160	1.145	8	22.270	380	3[d]
	I	16.855	779	4	16.480	530	2[d]
B2.5	IV, V	20.530	1.637	17	20.380	560	8[d]
	II, III	20.320	–	1	20.320	–	1[d]
	I	15.700	141	2	–	–	–
B3	IV, V	18.445	1.426	32	18.530	190	11[d]
	II, III	18.000	0	3	–	–	–
	I	14.520	328	4	14.520	170	2[d]
B4	IV, V	17.100	386	10	16.340	190	8[d]
	II, III	–	–	–	–	–	–
	I	16.680	2.573	2	14.860	–	1[d]
B5	IV, V	15.310	750	19	15.170	180	9[d]
	II, III	14.910	987	5	14.850	500	4[d]
	I	13.030	142	3	12.980	–	1[d]
B6	IV, V	14.340	570	3	13.740	160	3[d]
	II, III	13.810	383	4	13.660	200	5[d]
	I	–	–	–	–	–	–
B7	IV, V	12.815	393	7	12.980	180	4[d]
	II, III	12.940	1.230	4	12.750	–	1[d]
	I	–	–	–	–	–	–
B8	IV, V	12.120	623	9	11.900	130	4[d]
	II, III	12.300	945	11	11.930	180	5[d]
	I	11.320	253	2	11.460	220	2[d]
B9	IV, V	11.020	509	11	10.920	480	10[d]
	II, III	10.700	385	9	10.780	120	4[d]
	I	10.020	118	2	9.930	–	1[d]
B9.5	IV, V	10.340	465	8	10.200	–	1[d]
	II, III	10.400	277	4	10.545[c]	–	–
	I	–	–	–	–	–	–

www.dimosoglou.gr

Φασματικός τύπος	Τάξεις φωτεινότητας	T_{eff} (K)	s.d. (K)	No.	Άλλοι ερευνητές		
					T_{eff} (K)	s.d. (K)	No.
A0	IV, V	9.530	432	17	9.470	–	1[d]
	II, III	10.240	1.611	6	10.000[c]	–	–
	I	10.170	1.549	5	–	–	–
A1	IV, V	9.150	241	30	9.200	200	21[b]
	II, III	–	–	–	–	–	–
	I	–	–	–	–	–	–
A2	IV, V	8.990	347	39	8.900	280	35[b]
	II, III	8.530	152	3	8.790[c]	–	–
	I	9.260	1.078	3	9.120[c]	–	–
A3	IV, V	8.625	281	30	8.600	280	24[b]
	II, III	8.230	99	2	8.510[c]	–	–
	I	9.070	857	3	–	–	–
A4	IV, V	8.260	57	3	–	–	–
	II, III	8.300	141	2	–	–	–
	I	–	–	–	–	–	–
A5	IV, V	8.170	481	12	8.500[a]	–	–
	II, III	8.075	95	4	8.205[c]	–	–
	I	–	–	–	–	–	–
A7	IV, V	7.700	200	6	8.200[a]	–	–
	II, III	8.200	264	3	–	–	–
	I	–	–	–	–	–	–
A9	IV, V	–	–	–	–	–	–
	II, III	7.500	0	1	–	–	–
	I	–	–	–	–	–	–
F0	IV, V	7.500	282	2	7.520[a]	–	–
	II, III	7.000	0	1	–	–	–
	I	7.650	212	2	7.800[c]	–	–
F2	IV, V	6.500	0	2	–	–	–
	II, III	6.500	0	1	–	–	–
	I	–	–	–	–	–	–
F3	IV, V	6.500	0	1	–	–	–
	II, III	–	–	–	–	–	–
	I	–	–	–	–	–	–
F5	IV, V	6.500	0	1	6.810[a]	–	–
	II, III	–	–	–	–	–	–
	I	7.000	0	1	7.000[c]	–	–
F6	IV, V	6.540	226	2	6.580[a]	–	–
	II, III	–	–	–	–	–	–
	I	–	–	–	–	–	–

[a] Από Morton and Adams, 1968.
[b] Από Malagnini *et al.*, 1982.
[c] Από de Jager, 1980, p. 30.
[d] Από Underhill *et al.*, 1979.
[e] Από Remie and Lamers, 1982.

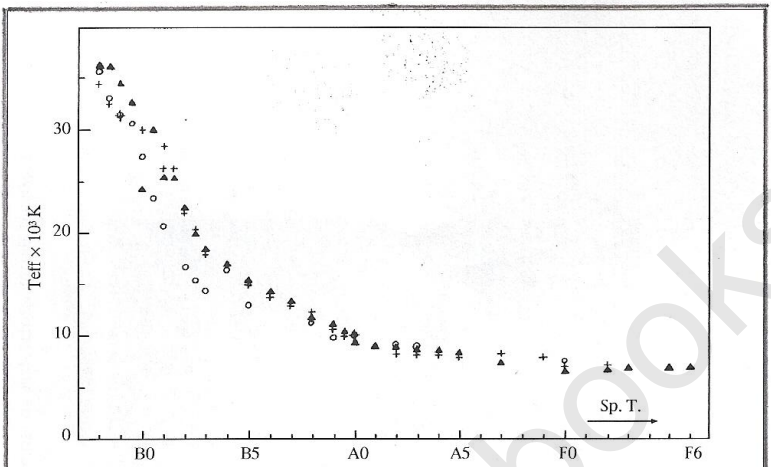
www.astrophysics.gr

Αν κάνουμε μια ανασκόπηση όσον αφορά την εμφάνιση των διαφόρων φασματικών γραμμών σ' ένα φάσμα, βλέπουμε ότι αυτή εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία, από την πίεση των ηλεκτρονίων και από την αφθονία των αντίστοιχων χημικών στοιχείων. Η επίδραση της ηλεκτρονικής πίεσης είναι δευτερεύουσας σημασίας, ενώ η επίδραση της αφθονίας των χημικών στοιχείων, που αρχικά πιστευόταν ότι ήταν ο κυρίαρχος παράγοντας των διαφορών, είναι στην πραγματικότητα αμελητέα. Δεν είναι σχήμα λόγου· όσο κι αν αυτό φαίνεται περίεργο, οι διαφορές στη χημική σύσταση των άστρων είναι μικρές και επιπλέον απαιτούνται τεράστιες διαφορές για μια ουσιαστική αλλαγή στη μορφή του φάσματος. Έτσι, η φασματική ακολουθία O, B, A, F, G, K και M είναι μια σειρά που καθορίζεται κυρίως από τη θερμοκρασία, ενώ η σειρά φωτεινότητας I, II, III, IV, V και VI είναι μια σειρά, που καθορίζεται από την πίεση των ηλεκτρονίων.

***** Τόσο η ταξινόμηση του Harvard, όσο και η ταξινόμηση του Yerkes είναι ποιοτικές ταξινομήσεις. Γίνονται δηλαδή με ανάλυση των φασμάτων από έμπειρους παρατηρητές χωρίς μετρήσεις.

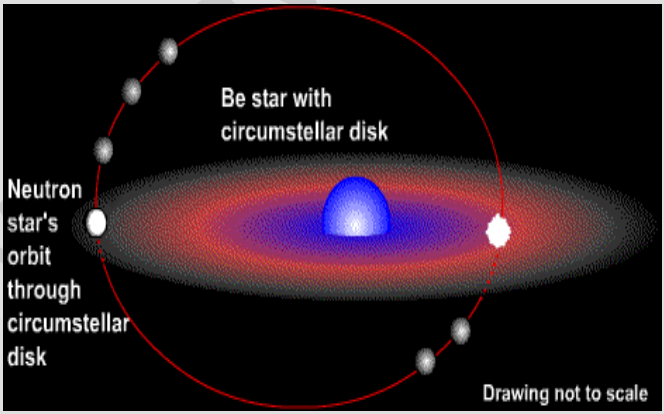
Σε μια πρόσφατη εργασία μας (Theodossiou, E. and Danezis, E., 1991) υπολογίσαμε μια νέα κλίμακα ενεργών θερμοκρασιών για αστέρια φασματικών τύπων από O8 μέχρι F6. Παρουσιάσαμε δηλαδή τις μέσες ενεργές θερμοκρασίες των άστρων, την τυπική τους απόκλιση (s.d.) κατά φασματικό τύπο και τάξη φωτεινότητας, καθώς και τη σύγκρισή τους με τις μέσες ενεργές θερμοκρασίες που υπολόγισαν προηγούμενοι ερευνητές.
Τα αποτελέσματά μας φαίνονται στους επόμενους πίνακες

www.diavlos.books.gr



Η σχέση μεταξύ των κατά μέσο όρο ενεργών θερμοκρασιών και των ΜΚ φασματικών τύπων για αστέρια φασματικών τύπων από Ο8 έως F6. Αστέρια, της Κυρίας Ακολουθίας (τάξεις φωτεινότητας IV και V) σημειώνονται με τρίγωνα· γίγαντες (τάξεις φωτεινότητας II και III) σημειώνονται με σταυρούς και άστρα υπεργίγαντες (τάξη φωτεινότητας I) σημειώνονται με κύκλους.

Αστέρες προγενέστερων φασματικών τύπων



Ονομασία

www.mybooks.gr

Επειδή οι αστέρες φασματικών τύπων **O, B, και A,** στην ορατή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος παρουσιάζουν μόνο μερικές ισχυρές γραμμές ελαφρών στοιχείων, δημιούργησαν αρχικά την άποψη ότι ήταν αστέρες στην αρχή της εξέλιξής τους.

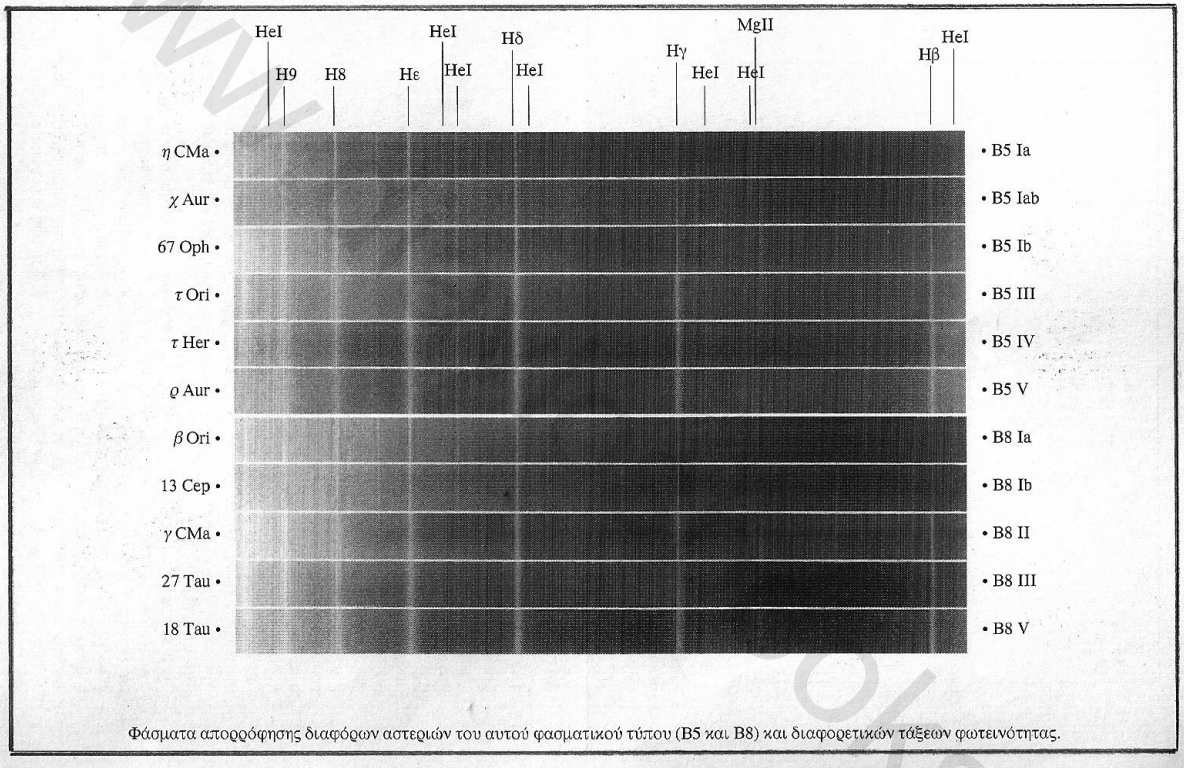
Από αυτό ακριβώς το γεγονός τούς δόθηκε το όνομα **προγενέστεροι αστέρες** (early type stars. Mc Lean, 1898).

Πιστεύαμε δηλαδή κάποτε ότι ένας αστέρας άρχιζε την ζωή του σαν φασματικού τύπου O και κατέληγε σαν τύπου K ή M. Ομοίωστ ότε ήταν αποδεκτό ότι οι αστέρες προγενέστερων φασματικών τύπων αποτελούσαν μία ακολουθία εξέλιξης, ιδέα, όμως, που προ πολλού έχει εγκαταληφθεί τελείως, εφ' όσον όπως έχουμε πλέον αποδείξει οι μεταγενέστεροι αστέρες, δεν είναι κατ' ανάγκη και οι γηραιότεροι. Πράγματι, η διάκριση των αστέρων σε προγενέστερους και μεταγενέστερους φασματικούς τύπους δηλώνει απλώς και μόνον τη σχετική θέση των φασμάτων τους στη φασματική ταξινόμηση του Harvard και δεν έχει καμία σχέση με την ηλικία τους (Russell et al., 1945).

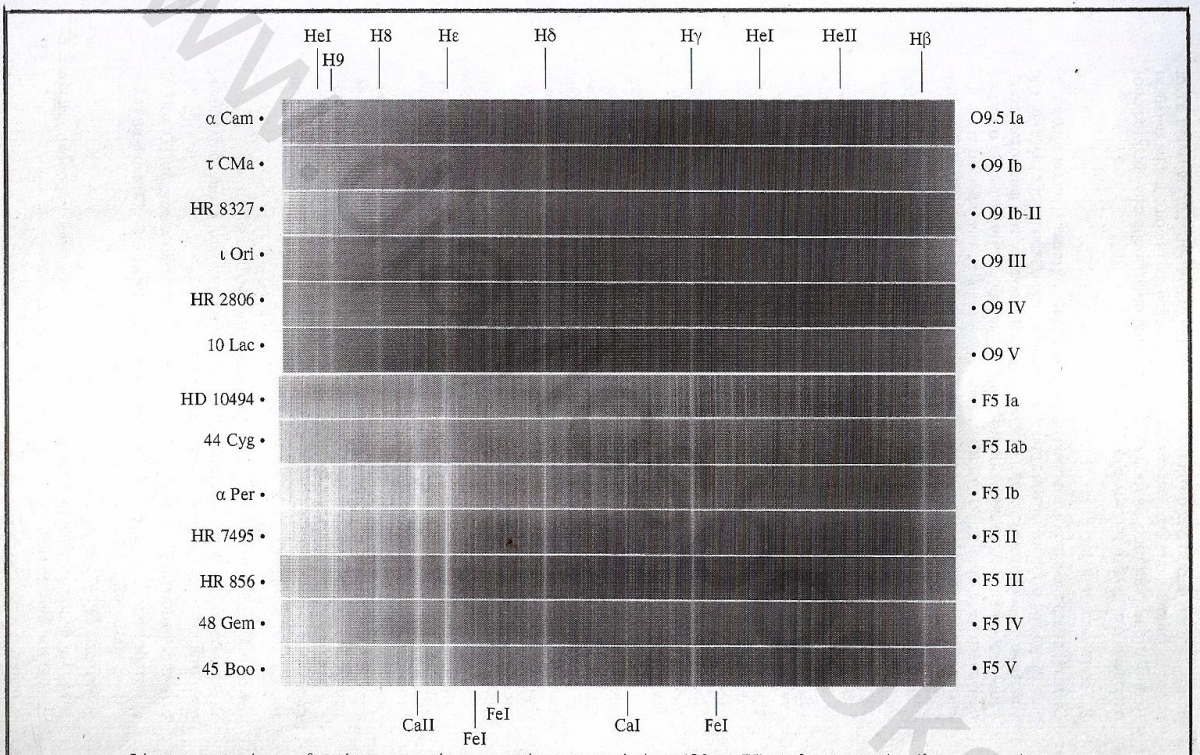
Οι αστέρες προγενέστερων φασματικών τύπων παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον επειδή είναι αστέρες που εκπέμπουν μεγάλα ποσά ενέργειας στην υπεριώδη (αόρατη από τη Γη) περιοχή του φάσματός τους. Λόγω της μεγάλης τους μάζας, εξαντλούν γρήγορα το υδρογόνο του πυρήνα τους και εξελίσσονται ταχύτατα απομακρυνόμενοι της Κυρίας Ακολουθίας. Η μελέτη των αστέρων αυτών είναι σημαντική γιατί μας δίνει πολύτιμες πληροφορίες για την κατανόηση της αστρικής εξέλιξης, αλλά συγχρόνως εμπλουτίζουν και διευρύνουν τη γνώση μας γύρω από τη δομή και την εξέλιξη των αστρικών ατμοσφαιρών.

Επίσης, επειδή οι αστέρες αυτοί είναι μεγάλης μάζας, 10^3-10^4 μαζών Ηλίου, είναι παρατηρήσιμοι σε μεγάλες αποστάσεις. Ως

www.olympios.gr



Φάσματα απορρόφησης διαφόρων αστεριών του αυτού φασματικού τύπου (B5 και B8) και διαφορετικών τάξεων φωτεινότητας.



Φάσματα απορρόφησης διαφόρων αστεριών του αυτού φασματικού τύπου (O9 και F5) και διαφορετικών τάξεων φωτεινότητας.

εκ τούτου αν γνωρίζουμε με ακρίβεια τα απόλυτα μεγέθη τους, μπορούμε να τους χρησιμοποιήσουμε σαν «δείκτες αποστάσεων» στη μελέτη της γαλαξιακής δομής.

Τρόποι παρατήρησης

Οι αστέρες προγενέστερων φασματικών τύπων είναι σχετικά λίγοι σε αριθμό· όμως, λόγω της σπουδαιότητάς τους για τη μελέτη της αστρικής εξέλιξης και της γαλαξιακής δομής, καθώς επίσης και λόγω των ιδιομορφιών των φασμάτων τους, έχουν μελετηθεί εκτεταμένα από πολλούς ερευνητές. Πραγματικά, οι αστέρες προγενέστερων φασματικών τύπων παρέχουν απ' ευθείας την αφθονία του χημικού στοιχείου He, μιας παραμέτρου μεγάλης σημασίας για τη χημική ιστορία του Σύμπαντος.
Επίσης δίνουν την ευκαιρία να δοκιμασθούν σ' αυτούς μοντέλα αστρικών ατμοσφαιρών, αφού η διάδοση της ενέργειας με μεταφορά δεν παίζει μεγάλο ρόλο σ' αυτούς τους αστέρες και οι κυριότερες αιτίες της αδιαφάνειας είναι γνωστές.
Στα φάσματα των αστέρων προγενέστερων φασματικών τύπων στην ορατή περιοχή επικρατούν οι γραμμές απορρόφησης, ενώ μερικές φορές οι γραμμές Balmer του υδρογόνου εμφανίζονται υπό μορφήν εκπομπής. Ειδικά, τα φάσματα των αστέρων Wolf-Rayet παρουσιάζουν ευρείες και έντονες γραμμές εκπομπής, που οφείλονται σε ισχυρώς ιονισμένα ατόμα διαφόρων στοιχείων. Αυτή η ομάδα αστεριών είναι η μόνη στην κατάταξη των αστέρων προγενέστερων φασματικών τύπων στην οποία επικρατούν οι γραμμές εκπομπής και όχι οι γραμμές απορρόφησης.
Λόγω τεχνικών δυσκολιών πριν από το 1940, η περισσότερη έρευνα είχε γίνει στη φασματική περιοχή από τα 3.800 A μέχρι

www.diavloshooks.gr

τα 5.000 Α, ενώ πιο πρόσφατα η κυριότερη φασματική περιοχή εκτεινόταν από τα 3.000 Α μέχρι τα 25.000 Α στο υπέρυθρο.
Με τους αστρονομικούς δορυφόρους οι παρατηρήσεις των αστέρων προγενέστερων φασματικών τύπων επεκτάθηκαν και προς την υπεριώδη περιοχή του φάσματος και αυτό ήταν μεγάλης σημασίας, γιατί το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειάς τους εκπέμπεται στο υπεριώδες. Η ανίχνευση και η έρευνα της υπεριώδους ακτινοβολίας στα μήκη κύματος από τα 1.000 Α έως τα 2.650 Α άρχισε με τους δορυφόρους της σειράς OAO (**O**rbiting **A**stronomical **O**bservatories), που τα τηλεσκόπιά τους χρησιμοποιούσαν, αντί για φωτογραφικές πλάκες φωτογραφικές κυψέλες. Στη συνέχεια από τα δεδομένα του Ευρωπαϊκού δορυφόρου TD-1, στην περιοχή των μηκών κύματος 1.360 Α μέχρι 2.540 Α είχαμε ένα κατάλογο 1.356 αστέρων προγενέστερων φασματικών τύπων, μικρής διακριτικής ικανότητας (20 Α), ενώ και ένας δεύτερος κατάλογος (Thompson et al., 1978) περιέχει φωτομετρικά δεδομένα στο υπεριώδες για 31.215 αστέρες.
Οι παρατηρήσεις των αστέρων προγενέστερων φασματικών τύπων συνεχίστηκαν στο υπεριώδες με τον IUE (International Ultraviolet Explorer), ενώ επεκτάθηκαν ακόμα περισσότερο προς τις ακτίνες Χ με τους δορυφόρους SAS-3, HEAO-1, HEAO-2 και πολλούς άλλους. Σήμερα συνεχίζονται με τους αστρονομικούς δορυφόρους FUSE, EUVE, SOHO, RO.SAT, GRO, καθώς και όλους αυτούς που θα εκτοξευτούν στο προσεχές μέλλον (βλέπε σελίδα....).

Κατάταξη των αστέρων προγενέστερων φασματικών τύπων

Οι αστέρες προγενέστερων φασματικών τύπων κατατάσσονται στους ακόλουθους φασματικούς τύπους και τάξεις φωτεινότητας:

α) Αστέρες φασματικού τύπου Ο, που περιέχουν και τους αστέρες εκπομπής Of και Oe.

β) Αστέρες φασματικού τύπου Β, που περιέχουν και τους αστέρες τύπου Β με κέλυφος, καθώς και τους αστέρες εκπομπής τύπου Be.

γ) Αστέρες Wolf-Rayet.

δ) Μη λαμπρούς αστέρες με γραμμές απορρόφησης ουδετέρου υδρογόνου HI και ιονισμένου ηλίου HeII.

ε) Αστέρες τύπου Α.

Από πλευράς τάξεως φωτεινότητας, οι αστέρες τύπου Ο είναι υπεργίγαντες (Ο7, Ο8, Ο9), γίγαντες ή νάνοι, όπως συμπεραίνουμε μετρώντας τον λόγο των εντάσεων των γραμμών του ουδετέρου (HeI λ4.471A) προς το ιονισμένο ήλιον (HeI λ4.541A) (Morgan and Keenan, 1973 και Conti and Frost, 1977).

Επίσης μετρώντας τις εντάσεις των γραμμών Balmer του υδρογόνου (Hβ, H_γ) υπολογίζουμε τις φωτεινότητες των αστέρων φασματικών τύπων από Β0 μέχρι Α2. Οι αστέρες αυτοί είναι υπεργίγαντες, γίγαντες ή νάνοι, όπως συμπεραίνουμε από τα πτερύγια των γραμμών Balmer του υδρογόνου. Οι αστέρες της Κυρίας Ακολουθίας (νάνοι αστέρες) εμφανίζουν εκτεταμένα πτερύγια των γραμμών Balmer του υδρογόνου, ενώ στους φωτεινότερους αστέρες οι γραμμές αυτές είναι στενότερες και δεν εμφανίζουν εκτεταμένα πτερύγια.

Κατανομή των αστέρων προγενέστερων φασματικών τύπων στον χώρο

Η φαινόμενη κατανομή των αστέρων προγενέστερων φασματικών τύπων δεν είναι ομοιόμορφη.

Οι πρώτες επισκοπήσεις (surveys) με βάση τους φασματικούς τύπους έδειξαν ότι γενικά οι αστέρες φασματικών τύπων Ο και

www.ebooks.gr

Β βρίσκονται κοντά στο γαλαξιακό επίπεδο, όπου συγκεντρώνονται τόσο η μεσοαστρική σκόνη όσο και το αέριο —όπως είναι γνωστό η πυκνότητα των αστεριών μικραίνει καθώς απομακρυνόμαστε από το γαλαξιακό επίπεδο.
Ιδιαίτερα οι αστέρες φασματικών τύπων Β2 και προγενέστεροι βρίσκονται κυρίως στα ανοικτά σμήνη και στις ομάδες-Ο (O-associations). Ομοίως, οι αστέρες τύπου Α δείχνουν μια ισχυρή γαλαξιακή συγκέντρωση, ιδιαίτερα για τα αμυδρότερα μεγέθη.

Ταξινόμηση και περιγραφή του φάσματός τους

Κάθε αστέρας, οποιουδήποτε φασματικού τύπου και τάξεως φωτεινότητας, έχει ιδιομορφίες και ως εκ τούτου είναι αδύνατο απομονώνοντας και μελετώντας έναν τυχαίο αστέρα να εξάγουμε γενικότερα συμπεράσματα. Έτσι, μια φασματική ταξινόμηση αποσκοπεί στο να βρεθούν αντιπροσωπευτικοί αστέρες που οι γενικότερες φυσικές τους ιδιότητες να χαρακτηρίζουν συγκεκριμένο αριθμό αστρικών ομάδων, τις οποίες και θα χαρακτηρίζουν. Τότε μέσω της μελέτης των φαινομένων κάθε αστρικής ομάδας μπορούμε να καταλήξουμε σε συμπεράσματα που θα αφορούν:
α) Τις αστρικές θερμοκρασίες.
β) Τις πιέσεις.
γ) Τη χημική σύσταση, και
δ) Την κατανομή τους στον χώρο.
Ρυθμιστικοί παράγοντες των φασματικών κριτηρίων είναι η θερμοκρασία και η πίεση του αερίου στις ατμόσφαιρές τους. Όπως ήδη έχουμε αναφέρει, για την ταξινόμησή τους οι αστέρες τοποθετήθηκαν αρχικά σε μια ακολουθία ελαττουμένης επιφανειακής θερμοκρασίας (ταξινόμηση Harvard). Πραγματικά η φασματική σειρά O, B, A, F, G, K, M είναι μια σειρά που καθορίζεται κυρίως από τη θερμοκρασία.

www.openbooks.gr

Κατά δεύτερο λόγο οι αστέρες ταξινομήθηκαν σύμφωνα με τη φωτεινότητά τους [ταξινόμηση Yerkes ή MK (Morgan-Keenan)]. Οι τάξεις φωτεινότητας I, II, III, IV, V, VI είναι μια σειρά που καθορίζεται από την πίεση του αερίου.
Οι περισσότεροι αστέρες ανήκουν στην τάξη φωτεινότητας V, είναι δηλαδή νάνοι αστέρες ή αστέρες της Κυρίας Ακολουθίας, λόγω του ότι κατά την εξελικτική τους πορεία οι αστέρες παραμένουν στην Κυρία Ακολουθία κατά τον μεγαλύτερο χρόνο της ζωής τους.
Οι αστέρες με τη χαμηλότερη πίεση αερίου στις ατμόσφαιρές τους έχουν γενικά υψηλότερη φωτεινότητα. Συνεπώς στις ατμόσφαιρες των άστρων μεγάλης φωτεινότητας η πίεση είναι χαμηλότερη απ' ό,τι σε αστέρες μικρής φωτεινότητας και η ατμόσφαιρά τους πιο εκτεταμένη.
Γενικά, η μορφή του φάσματος και, κατά συνέπεια, ο φασματικός τύπος, εξαρτώνται από τις φυσικές ιδιότητες της ατμόσφαιρας του αστέρα.
Γεγονός πάντως είναι ότι η εμφάνιση των διαφόρων φασματικών γραμμών σ' ένα φάσμα εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία. Η επίδραση των άλλων παραγόντων, όπως η πίεση του αερίου και η αφθονία των διαφόρων στοιχείων στην ατμόσφαιρα του αστέρα είναι δευτερεύουσας σημασίας.

Γενικά συμπεράσματα για τους αστέρες φασματικών τύπων Ο και Β

Γενικά οι αστέρες φασματικών τύπων Ο και Β είναι νέοι αστέρες μεγάλης μάζας με υψηλή επιφανειακή θερμοκρασία, φωτεινότητα και λαμπρότητα.
Τα φάσματά τους στην υπεριώδη περιοχή δείχνουν έναν μεγάλο αριθμό μεταλλικών γραμμών από το όριο του Lyman (912A) έως τα 2.800 A περίπου.

www.diavlosbooks.gr

Πάντως, γενικά συμπεράσματα για τους αστέρες αυτούς είναι δύσκολο να εξαχθούν, γιατί είναι σπάνιοι και αντικειμενικά είναι δύσκολο να μελετηθεί ένα αρκετά μεγάλο δείγμα τους για να εξαλειφθούν οι στατιστικές διακυμάνσεις.
Οι αστέρες φασματικών τύπων Ο και Β είναι λίγοι και ακόμα λιγότεροι στη γειτονιά του Ήλιου. Οι McCuskey and Houk (1964) βρήκαν ότι οι αστέρες αυτοί συγκεντρώνονται κατά το μεγαλύτερο μέρος τους σε μια περιοχή στην απόσταση 1 μέχρι 3 Kpc από τον Ήλιο.

Αστέρες τύπου Ο

Οι αστέρες φασματικού τύπου Ο είναι αστέρες μεγάλου αστροφυσικού ενδιαφέροντος, γιατί είναι νέοι αστέρες, μεγάλης μάζας, υψηλής επιφανειακής θερμοκρασίας και φωτεινότητας. Οι αστέρες τύπου Ο είναι ηλικίας ολίγων εκατομμυρίων ετών, όπως συμπεραίνουμε από το γεγονός ότι αυτοί είναι μέλη διαστελλόμενων ομάδων, που η ηλικία τους υπολογίζεται από την ταχύτητα διαστολής τους.
Οι αστέρες φασματικού τύπου Ο έχουν μεγάλη διακύμανση μαζών από μία ηλιακή μάζα μέχρι 50 ηλιακές μάζες για τους φωτεινότερους από αυτούς. Είναι φωτεινοί αστέρες 10^3 έως 10^4 Ηλίων, με επιφανειακές θερμοκρασίες από 30.000K έως 50.000 K (Conti, 1973b). Συνεπώς είναι οι θερμότεροι αστέρες και χάνουν μάζα με αστρικούς ανέμους.
Η χημική τους σύσταση και ειδικότερα ο λόγος τού He/H στις ατμόσφαιρές τους είναι χαρακτηριστικός της μεσοαστρικής ύλης της γειτονίας τους. Επίσης η ακτινοβολία από τους αστέρες αυτούς είναι το κυριότερο αίτιο που προκαλεί τη διέγερση των αεριωδών νεφελωμάτων κοντά στα αστρικά σμήνη. Έτσι, είναι μεγάλης σημασίας να ξέρουμε αυτήν την

www.diavlosbooks.gr

ακτινοβολία για τη μελέτη της δομής και της δυναμικής των νεφελωμάτων.

Οι αστέρες φασματικού τύπου Ο έχουν μόνο γραμμές απορρόφησης στο ορατό τμήμα του φάσματός τους, που είναι κυρίως γραμμές Balmer του υδρογόνου, ουδετέρου ηλίου HeI και ιονισμένου ηλίου HeII. Οι γραμμές του ιονισμένου ηλίου HeII αυξάνουν σε ένταση στους νεότερους αστέρες.

Από παρατηρήσεις δορυφόρων έχει βρεθεί ότι μερικοί υπεργίγαντες αστέρες τύπου Ο παρουσιάζουν γραμμές εκπομπής στο υπεριώδες τμήμα του φάσματός τους, καθώς και πολύ ισχυρές γραμμές απορρόφησης προερχόμενες από ιόντα υψηλού δυναμικού ιονισμού. Γενικότερα, σύμφωνα με την σημερινή άποψη, οι ατμοσφαιρικές περιοχές πέραν της φωτόσφαιρας παρουσιάζονται παρόμοιες με αυτές που περιγράφονται στους αστέρες φασματικού τύπου Β και είναι η χρωμόσφαιρα, το στέμμα και οι μεταστεμματικές περιοχές.

Οι αστέρες φασματικού τύπου Ο χωρίζονται σε φασματικές υποτάξεις από Ο3 μέχρι Ο9. Οι αστέρες της υποτάξεως Ο3 έχουν φάσματα με γραμμές απορρόφησης του υψηλότερου επιπέδου διέγερσης και ιονισμού και έτσι κανένας αστέρας δεν έχει ακόμα βρεθεί για τον οποίο να έχουν προταθεί οι υποτάξεις Ο2, Ο1 ή Ο0.

Οι αστέρες με κέλυφος (shell stars) ανάμεσα στους αστέρες τύπου Ο έχουν ταξινομηθεί σαν Of. Το πρόθεμα f, που χρησιμοποιείται μόνο στους αστέρες τύπου Ο, αντιπροσωπεύει αυτούς στους οποίους η εκπομπή εμφανίζεται στο ιονισμένο ήλιον HeII λ4.686Α και στο διπλά ιονισμένο άζωτο NIII λ4.634,41Α.

Βαθμιαία τα κριτήρια ταξινόμησης άλλαξαν. Οι Conti και Leep (1974) όρισαν σαν Of τους αστέρες εκείνους που παρουσιάζουν αφ' ενός μεν εκπομπή στο ιονισμένο ήλιον HeII λ4.686Α, αφ' ετέρου δε αν είναι τύπου Ο3-Ο5 να παρουσιάζουν απορρόφηση

στο NV 4.604 A, 4.620A, ενώ αν είναι τύπου O6-O9,5 να παρουσιάζουν εκπομπή στον διπλά ιονισμένο άνθρακα CIII 5.696A.

Επίσης πρότειναν δύο ακόμα υποδιαιρέσεις με προθέματα (f) και ((f)). Το πρόθεμα (f) αντιπροσωπεύει τους αστέρες τύπου O με εκπομπή στο διπλά ιονισμένο άζωτο NIII λ4.634,41A, αλλά με ασθενή απορρόφηση στο ιονισμένο ήλιον HeII λ4.686A.

Το πρόθεμα ((f)) αντιπροσωπεύει τους αστέρες τύπου O με εκπομπή στο διπλά ιονισμένο άζωτο NIII λ4.634,41A, αλλά με έντονη απορρόφηση στο ιονισμένο ήλιον HeII λ4.686A.

Γενικά οι αστέρες τύπου Of είναι οι πιο φωτεινοί, γεγονός που δείχνει ότι η εκπομπή στο ιονισμένο ήλιον HeII λ4.686A σχετίζεται με τη φωτεινότητα. Οι αστέρες τύπου O(f) και O((f)) είναι λιγότερο φωτεινοί, έτσι η ακολουθία f, (f) και ((f)) συγκρίνεται με τις τάξεις φωτεινότητας I, III και V (Walborn, 1978).

Οι περισσότεροι αστέρες, προγενέστεροι του O6, είναι Of ή O(f) που είναι και οι αστέρες με τις μεγαλύτερες μάζες (M>50Mo).

Οι O(f) και O((f)) θεωρούνται, αφού δεν παρουσιάζουν εκπομπή στο ιονισμένο ήλιον HeII λ4.686A, ότι δεν έχουν εκτεταμένες ατμόσφαιρες, όπως οι Of, και ακόμα ότι παρουσιάζουν μικρής κλίμακας απώλεια μάζας ως προς τους Of.

Μερικοί αστέρες Of περιβάλλονται από ένα νεφέλωμα κονιορτού, όπως βρέθηκε από υπέρυθρες παρατηρήσεις (Cohen and Barlow, 1973).

Το πρόθεμα e, που γενικά σημαίνει γραμμές εκπομπής (emission), αρχικά δεν εχρησιμοποιείτο για τους αστέρες τύπου O. Οι Conti and Leep (1974) εισήγαγαν το φασματικό τύπο Oe για εκείνους τους αστέρες τύπου O, που παρουσιάζουν εκπομπή που οφείλεται στις γραμμές Balmer του υδρογόνου και δεν

www.diavlos.gr

δείχνουν εκπομπή που να οφείλεται στο διπλά ιονισμένο άζωτο NIII λ4634,41A και στο ιονισμένο ήλιον HeII λ4686A.
Μερικοί αστέρες τύπου Ο παρουσιάζουν εκπομπή μόνο στην Ηα χωρίς να παρουσιάζουν εκπομπή σε καμία άλλη γραμμή Balmer του υδρογόνου, όπως π.χ. ο ζ Oph (HD 149757) και ο HD 46056. Αυτοί οι αστέρες ταξινομήθηκαν σαν O(e).
Μεταξύ των αστέρων του ίδιου φασματικού τύπου φωτεινότεροι είναι οι αστέρες με γραμμές εκπομπής, που κατά κανόνα δείχνουν ύπαρξη εκτεταμένων ατμοσφαιρών.

Αστέρες φασματικού τύπου Β

Οι αστέρες φασματικού τύπου Β, είναι θερμοί, μεγάλης μάζας αστέρες, με ενεργές θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 10^4 έως $3x10^4$ K και μάζες που έχουν τιμές μεταξύ 2 και 20 ηλιακών μαζών
Όταν θέλουμε να ταξινομήσουμε αστέρες τύπου Β, με βάση το ορατό φάσμα τους, τους χωρίζουμε πρώτα σε υποτάξεις από B0 μέχρι B9 μετρώντας την ένταση των γραμμών του ουδετέρου ηλίου (HeI) και μετά σε τάξεις φωτεινότητας από I μέχρι VI μετρώντας την ένταση των γραμμών Balmer του υδρογόνου.
Οι περισσότεροι αστέρες τύπου Β έχουν φάσματα με γραμμές απορρόφησης. Λίγοι απ' αυτούς έχουν οξείες γραμμές, ενώ οι περισσότεροι έχουν μάλλον ευρείες-αβαθείς γραμμές που οφείλονται σε γρήγορη περιστροφή. Γενικά οι προγενέστεροι αστέρες έχουν ταχύτητες περιστροφής μεγαλύτερες από 100 Km/sec.
Οι αστέρες εκπομπής τύπου Β, οι Be, παρουσιάζουν στην ορατή περιοχή του φάσματός τους, εκπομπές στις γραμμές Balmer του υδρογόνου και συχνά σε κάποιες φασματικές γραμμές ιονισμένων μετάλων. Συχνά εμφανίζεται μόνο η Ηα σε εκπομπή και οι αστέρες αυτοί ταξινομούνται ως B(e). Φαίνεται ότι

www.ziteiosbooks.gr

μεταξύ αυτών δεν υπάρχουν υπεργίγαντες και οι περισσότεροι έχουν τάξεις φωτεινότητας V, IV, και III (Henize et al., 1976).
Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι το φάσμα ενός αριθμού αστέρων παρατηρήθηκε να αλλάζει από ένα φάσμα απορρόφησης τύπου B σε φάσμα εκπομπής τύπου Be ή ακόμα από φάσμα εκπομπής τύπου Be σε φάσμα κελύφους τύπου B εντός 20-30 ετών. Πολλές από αυτές τις αλλαγές καταγράφηκαν στον κατάλογο «Mount Wilson Catalogue of Be and Ae stars» (Merrill and Burwell 1933, 1943, 1949, 1950). Ειδικότερα ο A.C. Slettebac (1973) αναφέρει ότι το 20% των αστέρων τύπου B μέσα σε 20-30 έτη μετατρέπεται σε αστέρες τύπου Be.
Η παρουσία γραμμών εκπομπής σε αστέρες φασματικού τύπου B, συνιστά μιαν ανωμαλία στο χρησιμοποιούμενο σύστημα φασματικής ταξινόμησης των αστρικών φασμάτων στα ορατά μήκη κύματος. Είναι επίσης, μια ανωμαλία όσον αφορά τη θεωρία των κλασικών ατμοσφαιρών που προβλέπει μόνο γραμμές απορρόφησης.
Σημειώνουμε ότι όταν αναφέρουμε **αστέρες τύπου B με κέλυφος**, δεν σημαίνει, γεωμετρικά, τίποτε το ιδιαίτερο αυτός ο όρος· απλώς υπάρχει αρκετή ποσότητα ύλης στην εκτεταμένη ατμόσφαιρα του αστεριού στην οπτική ακτίνα του παρατηρητή, με άμεσο αποτέλεσμα να παρουσιάζεται στο φάσμα ένα σύνολο οξειών γραμμών απορρόφησης. Αυτό το σύνολο των οξειών γραμμών απορρόφησης εμφανίζεται πάνω στο κανονικό φάσμα τύπου B και κάνει τον αστέρα αυτόν να ομοιάζει περισσότερο με έναν υπεργίγαντα αστέρα φασματικού τύπου A.
Οι κυριότερες γραμμές απορρόφησης σ' έναν αστέρα φασματικού τύπου B, στην ορατή περιοχή του φάσματος, είναι οι γραμμές Balmer του υδρογόνου και οι γραμμές του ουδετέρου ηλίου HeI.

www.diavlos.gr

Οι περισσότεροι αστέρες φασματικού τύπου Β ανήκουν στις υποτάξεις B0, B1, B2, B3, B5 και B8, και οι λιγότεροι στις υποτάξεις B0.5, B1.5, B2.5, B4, B6, B7 και B9.
Όπως οι αστέρες τύπου Ο, έτσι και οι αστέρες τύπου Β είναι συγκεντρωμένοι κοντά στο γαλαξιακό επίπεδο και πολλοί απ' αυτούς είναι μέσα στη σκόνη και το αέριο.
Η θερμοκρασία τους εξάγεται από την ενεργειακή κατανομή του συνεχούς φάσματος. Και από φασματοσκοπική άποψη υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για τις γραμμές του ηλίου (He) στους αστέρες τύπου Β, επειδή μας παρέχουν την αφθονία αυτού του στοιχείου.

Το γραμμικό φάσμα των αστέρων Be στην υπεριώδη (UV) φασματική περιοχή.

Η μελέτη της υπεριώδους περιοχής (UV) του φάσματος των αστεριών φασματικών τύπων Β και Be έφερε στο φως τέσσερα νέα δεδομένα που δεν προβλέπονται από την κλασική θεωρία των αστρικών ατμοσφαιρών.
1. Όπως αποδείχτηκε στη φασματική αυτή περιοχή, στα φάσματα των αστεριών φασματικών τύπων Β και Be παρατηρούνται πολύ ισχυρές γραμμές απορρόφησης, οι οποίες δημιουργούνται από ιόντα υψηλού δυναμικού ιονισμού, όπως OIV, NV, SiIV, CIV, NIV. Οι βαθμοί ιονισμού αυτών των ιόντων είναι πολύ υψηλότεροι από αυτούς που μπορούν να προβλεφθούν με βάση τις ενεργές θερμοκρασίες αυτών των αστέρων κάτω από συνθήκες ακτινοβολιακής ισορροπίας. Για να εξηγηθεί η παρουσία αυτών των γραμμών είναι αναγκαία η παραδοχή της ύπαρξης μιας μη ακτινοβολιακής ροής ενέργειας. Η μη ακτινοβολιακή όμως ροή ενέργειας συνεπάγεται την ύπαρξη περιοχών, στην ατμόσφαιρα των αστεριών φασματικών

www.stavlespoolis.gr

τύπων Β και Be, που να αντιστοιχούν σε περιοχές αντίστοιχες της ηλιακής χρωμόσφαιρας και του στέμματος.

2. Οι μεγάλες μετατοπίσεις των γραμμών απορρόφησης των πολλαπλώς ιονισμένων στοιχείων, αντιστοιχούν σε ταχύτητες που φθάνουν ακόμη και τα 3.000 Km/sec, οι οποίες είναι μεγαλύτερες από την ταχύτητα διαφυγής στην επιφάνεια των αστέρων. Η ύπαρξη τόσο μεγάλων ταχυτήτων στα ατμοσφαιρικά στρώματα των αστεριών φασματικών τύπων Β και Be αποδεικνύει την ύπαρξη ροής μάζας.

3. Οι εντάσεις, τα προφίλς (περιγράμματα) και οι μετατοπίσεις των γραμμών αυτών μπορούν να είναι διαφορετικές για δύο κανονικούς ή ιδιόμορφους αστέρες του ίδιου φασματικού τύπου και τάξεως λαμπρότητας. Αυτό σημαίνει ότι οι κατανομές ταχυτήτων και πυκνότητας στις υπεριονισμένες περιοχές μπορούν να είναι διαφορετικές για δύο αστέρες που χαρακτηρίζονται από τις ίδιες τιμές T_{eff} και g και συνεπώς οι δύο αυτές παράμετροι δεν είναι επαρκείς για να περιγράψουν τα εξώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας ενός αστέρα φασματικού τύπου Β ή Be.

4. Η μεταβολή των μετατοπίσεων, των εντάσεων και των περιγραμμάτων των γραμμών των υπεριονισμένων στοιχείων, είναι ένα φαινόμενο που παρατηρείται και στους κανονικούς αστέρες φασματικών τύπων Β, καθώς και στους ιδιόμορφους αστέρες φασματικού τύπου Be.

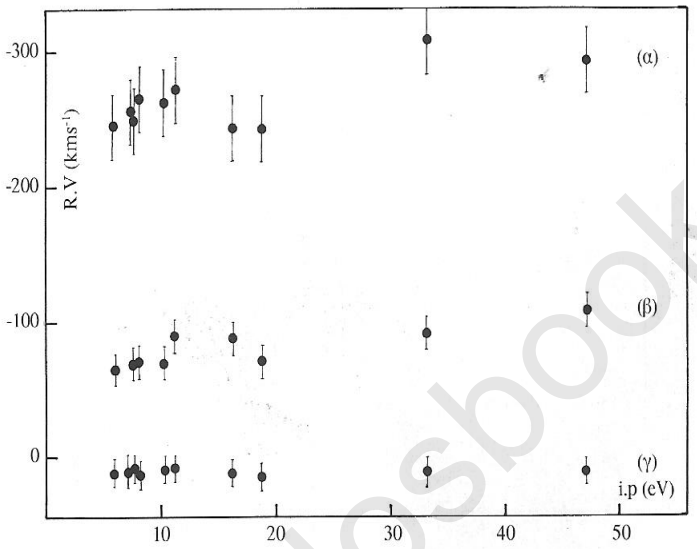
Η ύπαρξη μη ακτινοβολιακής ροής ενέργειας στους Β και Be αστέρες είναι ισχυρή ένδειξη ότι οι ατμόσφαιρές τους έχουν όμοιες ακτινικές κατανομές θερμοκρασίας. Αυτό σημαίνει ότι και για τους δύο τύπους αστέρων οι περιοχές πάνω από τη φωτόσφαιρα είναι κατά σειρά, η χρωμόσφαιρα, το στέμμα και η μεταστεμματική περιοχή.

www.uranosbooks.gr

Ομοίως η ύπαρξη ροής μάζας στους αστέρες φασματικών τύπων Β και Βe είναι ένδειξη ότι οι ατμόσφαιρές τους έχουν όμοιες ακτινικές κατανομές πυκνότητας.
Η τιμή του ρυθμού απώλειας μάζας υπολογίζεται ότι είναι της τάξεως των 10^{-6} έως 10^{-7} Μο ανά έτος για τους υπεργίγαντες αστέρες φασματικού τύπου Β, της τάξεως των 10^{-7} έως 10^{-9} Μο ανά έτος για τους αστέρες φασματικού τύπου Βe και της τάξεως των 10^{-8} έως 10^{-9} ανά έτος για τους κανονικούς αστέρες φασματικού τύπου Β της Κυρίας Ακολουθίας.2
Η εικόνα των αερίων κελυφών τα οποία περιβάλλουν τους αστέρες φασματικού τύπου Βe αλλά και τους αστέρες φασματικού τύπου Οe, παρουσιάζεται ακόμη πιο σύνθετα μετά τ' αποτελέσματα που παρουσίασαν μέσω μιας σειράς εργασιών οι Επίκουροι Καθηγητές του Πανεπιστημίου Αθηνών Ε. Δανέζης και Ε. Θεοδοσίου. Οι παρατηρήσεις τους έδειξαν ότι μια σειρά φασματικών γραμμών απορρόφησης διαφόρων δυναμικών ιονισμού, συνοδεύονταν από μία ή δύο δορυφορικές συνιστώσες απορρόφησης, εντελώς διαφορετικών ακτινικών μετατοπίσεων. Αυτό σημαίνει ότι μέσα στα αέρια κελύφη των αστεριών αυτών των φασματικών τύπων, δημιουργούνται τοπικά περιοχές αυξημένης πυκνότητας, οι οποίες φαίνονται να απομακρύνονται από τον αστέρα με διαφορετικές ακτινικές ταχύτητες.

.

www.diaviosbooks.gr



Η σχέση μεταξύ των μέσων ακτινικών ταχυτήτων, διαφορετικών δορυφορικών συνιστωσών, πολλών ιόντων, συναρτήσει του δυναμικού ιονισμού τους. Όπως παρατηρούμε διακρίνονται τρία διαφορετικά κελύφη (α), (β), (γ), τα οποία απομακρύνονται από τον αστέρα με διαφορετικές ακτινικές ταχύτητες.

www.diavlosbooks.gr

Το Διάγραμμα Hertzsprung-Russell

Το 1905 ο Δανός αστρονόμος *Ejnar Hertzsprung* (1873-1967) συσχέτισε τα χρώματα και τις φωτεινότητες αστεριών διαφορετικής μάζας και ηλικίας και έφτιαξε το διάγραμμα φωτεινότητας-δείκτη χρώματος, ή απολύτου μεγέθους-δείκτη χρώματος, εφ' όσον η φωτεινότητα ή αντίστοιχα η απόλυτη λαμπρότητα και το απόλυτο μέγεθος συνδέονται λογαριθμικά.
Το 1913 ο Αμερικανός αστρονόμος *Henry Norris Russell* (1877-1957), σε ανεξάρτητη εργασία του, έκανε μια παρόμοια μελέτη, όπου παρουσίασε τα ίδια αστέρια σε ένα διάγραμμα με συντεταγμένες το απόλυτο μέγεθος και τον φασματικό τύπο.
Από τον συνδυασμό των διαγραμμάτων των δύο ερευνητών, βρέθηκε ότι τα αστέρια καταλαμβάνουν συγκεκριμένες θέσεις σ' ένα κοινό διάγραμμα, το οποίο αποτέλεσε, όπως θα δούμε στη συνέχεια, μία από τις σπουδαιότερες ανακαλύψεις της Αστροφυσικής.



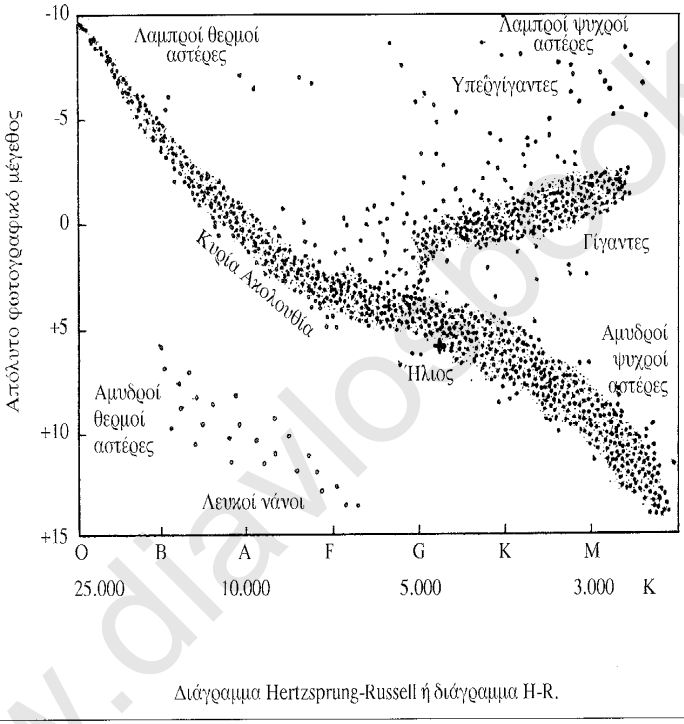
Ejnar Hertzsprung (1873-1967)



Henry Norris Russell (1877-1957)

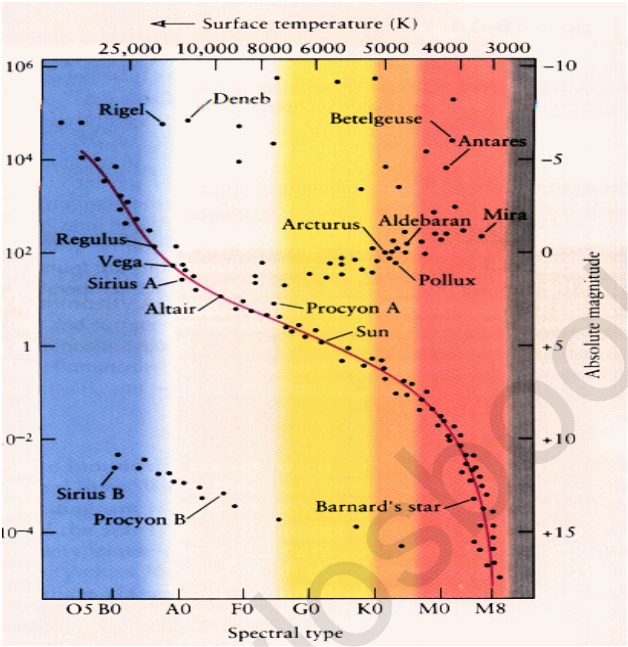
www.diavlos.gr

Το διάγραμμα αυτό ονομάζεται από τότε διάγραμμα Hertzsprung-Russell ή διάγραμμα H-R και παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Διάγραμμα Hertzsprung-Russell ή διάγραμμα H-R.

www.diavlobooks.gr



Το H-D διάγραμμα. Ο φασματικός τύπος ή η θερμοκρασία των αστεριών ως συνάρτηση της φωτεινότητας του αστεριού

Όπως ήδη αναφέραμε, προκειμένου να σχηματίσουμε το διάγραμμα H-R αντί του απολύτου μεγέθους των αστεριών, χρησιμοποιούμε τη φωτεινότητά τους ή την απόλυτη λαμπρότητά τους. Η αντικατάσταση αυτή μπορεί να γίνει εφ' όσον μέσω της κλίμακας μεγεθών έχει οριστεί και η κλίμακα λαμπροτήτων. Έτσι κάθε αστέρι που αντιστοιχεί σε κάποιο ακέραιο μέγεθος είναι 2,512 φορές λαμπρότερο από κάθε άλλο αστέρι που αντιστοιχεί σε μέγεθος κατά μία μονάδα μεγαλύτερο Στο διάγραμμα H-R ο δείκτης χρώματος, ο φασματικός τύπος και η ενεργός θερμοκρασία μπορούν να είναι στον άξονα των

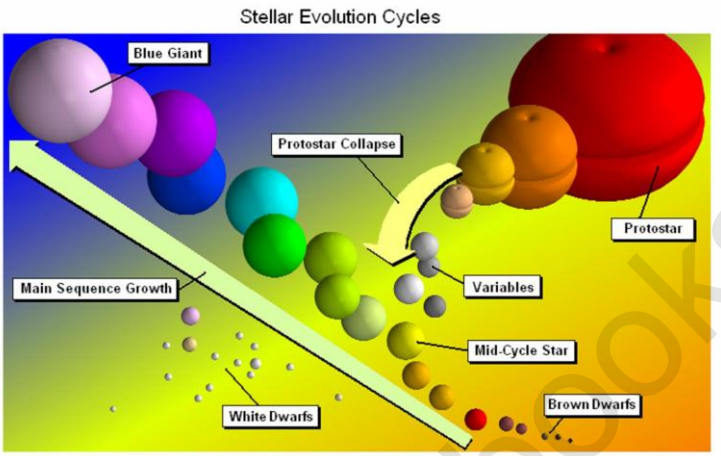
www.diavgosbooks.gr

τετμημένων, αφού όλα αυτά τα μεγέθη αποδείξαμε ότι αλληλοσυνδέονται, ενώ στον άξονα των τεταγμένων μπορεί να είναι η φωτεινότητα, το απόλυτο μέγεθος ή η απόλυτη λαμπρότητα. Έτσι το διάγραμμα H-R ή διάγραμμα θερμοκρασίας-φωτεινότητας —αλλά και διάγραμμα θερμοκρασίας-απόλυτης λαμπρότητας— είναι μια γραφική παράσταση που συσχετίζει τις φωτεινότητες ή τα απόλυτα μεγέθη των άστρων με τις θερμοκρασίες, τους φασματικούς τύπους και τα χρώματά τους.

Συνεπώς, παρατηρώντας το χρώμα ενός άστρου γνωρίζουμε και τη θερμοκρασία στην επιφάνειά του. Δηλαδή το διάγραμμα H-R μάς παρέχει μια σχέση της φωτεινότητας του άστρου με την επιφανειακή θερμοκρασία του.

Όπως παρατηρούμε στο παραπάνω σχήμα, η κατανομή των αστεριών δεν είναι ομοιόμορφη σε όλες τις περιοχές του διαγράμματος H-R. Τα περισσότερα άστρα είναι συγκεντρωμένα σε μια στενή ζώνη που διασχίζει διαγώνια το διάγραμμα H-R, από τον φασματικό τύπο Β μέχρι τον φασματικό τύπο Μ. Η ζώνη αυτή ονομάζεται *Κυρία Ακολουθία (Main Sequence)* και σ' αυτήν ανήκουν οι *νάνοι,* όπως λέμε, αστέρες. Για τα άστρα της Κυρίας Ακολουθίας υπάρχει μια ορισμένη σχέση μεταξύ φωτεινότητας και χρώματος: *όσο πιο φωτεινό είναι ένα άστρο τόσο πιο μπλε είναι*. Έτσι τα άστρα στο πάνω άκρο της Κυρίας Ακολουθίας είναι μπλε και φωτεινά, ενώ στο κάτω άκρο της κόκκινα και αμυδρά. Τονίζουμε ότι ο κυριότερος παράγοντας που καθορίζει τη θέση ενός άστρου πάνω στην Κυρία Ακολουθία είναι η μάζα του. Τα μεγάλης μάζας άστρα είναι τα φωτεινά μπλε άστρα, ενώ τα μικρότερης μάζας είναι τα κόκκινα και αμυδρά.

www.klasikbooks.gr



Διάφορες κατηγορίες αστεριών ταξινομημένες στο H-R διάγραμμα

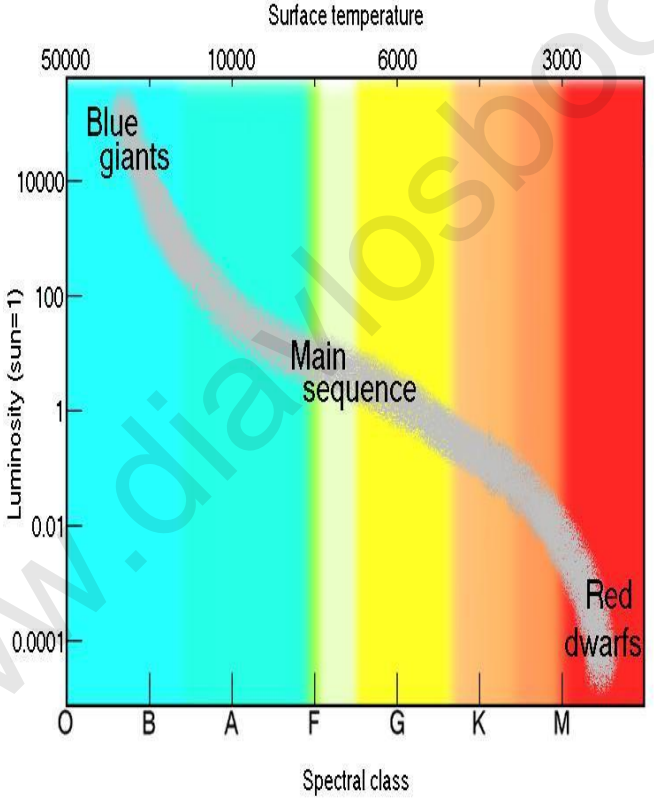
Πάνω από την Κυρία Ακολουθία παρουσιάζεται μια άλλη επιμήκης συγκέντρωση αστεριών, που ονομάζεται *Κλάδος των γιγάντων αστέρων*. Τα αστέρια αυτά είναι φωτεινότερα από τα αστέρια του ίδιου φασματικού τύπου που βρίσκονται στην Κυρία Ακολουθία. Επίσης πάνω από τον κλάδο των γιγάντων αστεριών βρίσκεται ο *Κλάδος των υπεργιγάντων*. Μεταξύ γιγάντων και Κυρίας Ακολουθίας βρίσκονται οι υπογίγαντες και κάτω από την Κυρία Ακολουθία οι υπονάνοι αστέρες. Στο κάτω αριστερό τμήμα του διαγράμματος H-R βρίσκεται μια άλλη ομάδα αστεριών που ονομάζονται *λευκοί νάνοι*. Όλες οι συγκεντρώσεις που εμφανίζονται στο διάγραμμα H-R αντιστοιχούν σε κατηγορίες αστεριών που σχετίζονται με την εξελικτική τους κατάσταση.

Μεταξύ της Κυρίας Ακολουθίας και του κλάδου των γιγάντων υπάρχει ένα κενό που ονομάζεται *χάσμα Hertzsprung*.

Ας δούμε όμως πιο αναλυτικά τις επιμέρους αστρικές ομάδες του διαγράμματος H-R.

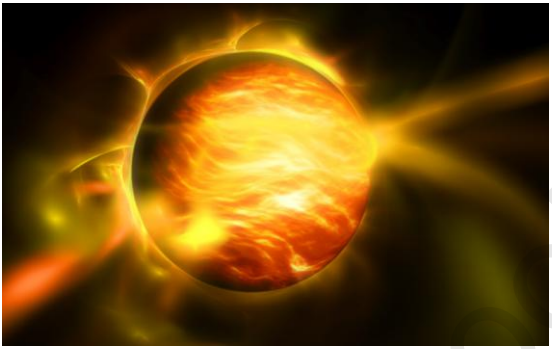
www.ebooks.gr

Κυρία Ακολουθία (νάνοι αστέρες). Στην περιοχή αυτή τα αστέρια περνούν την αρχική και πιο μακροπερίοδη φάση της ζωής τους. Ο γεωμετρικός τόπος των θέσεων που καταλαμβάνουν τα αστέρια στην Κυρία Ακολουθία σε χρόνο t=0 είναι μια γραμμή η οποία καλείται Κυρία Ακολουθία Μηδενικής Ηλικίας. Όταν τα αστέρια βρεθούν στην Κυρία Ακολουθία αρχίζουν οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις στον πυρήνα των άστρων και το υδρογόνο μετατρέπεται σε ήλιον.



www.diavlosbooks.gr

Γίγαντες αστέρες.

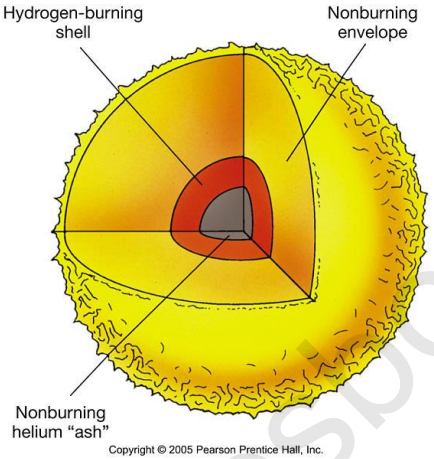


Σ' αυτήν την περιοχή του διαγράμματος H-R ανήκουν τα άστρα, που έχουν εξαντλήσει το υδρογόνο του πυρήνα τους, αλλά συνεχίζουν να καίνε υδρογόνο σε εξωτερικά στρώματά τους. Στη θέση αυτή τα άστρα μένουν σχετικά λίγο χρονικό διάστημα σε σχέση με τον χρόνο που περνούν στην Κυρία Ακολουθία. Λόγω αυτού του γεγονότος η ηλικία ενός άστρου καθορίζεται κυρίως από τον χρόνο παραμονής του πάνω στην Κυρία Ακολουθία. Η φωτεινότητα ή αντίστοιχα η απόλυτη λαμπρότητα των γιγάντων αστεριών είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη φωτεινότητα ή απόλυτη λαμπρότητα των νάνων αστεριών της Κυρίας Ακολουθίας. Επομένως, αφού οι γίγαντες έχουν τις ίδιες επιφανειακές θερμοκρασίες με τους αντίστοιχους νάνους αστέρες (ίδια τεταγμένη στο διάγραμμα H-R), συνεπάγεται ότι έχουν πολύ μεγαλύτερες φωτεινές επιφάνειες, εφ' όσον η φωτεινότητά τους εξαρτάται από την ακτίνα τους ($L=4\pi R^2\sigma T_{eff}^4$) άρα είναι γίγαντες και στις διαστάσεις. Οι γίγαντες αστέρες, λοιπόν, έχουν αραιές ατμόσφαιρες.

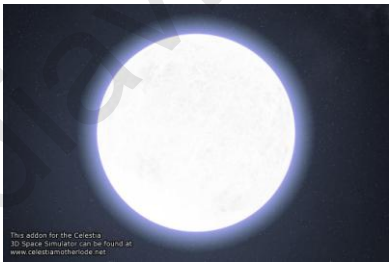
Υπεργίγαντες αστέρες. Στην περιοχή αυτή του διαγράμματος H-R βρίσκονται τα άστρα στα οποία το ήλιον του πυρήνα τους μετατρέπεται σε άνθρακα, ενώ η ακτίνα και η λαμπρότητά τους

www.cbooks.gr

έχουν τη μεγίστη τιμή τους. Δηλαδή οι υπεργίγαντες αστέρες έχουν αραιότατες ατμόσφαιρες.



Λευκοί νάνοι.

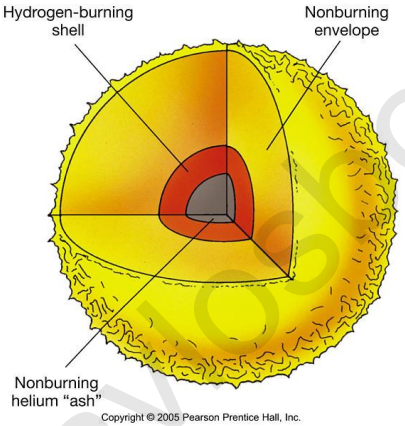


Σείριος Β

Οι αστέρες αυτοί, που καταλαμβάνουν το κάτω αριστερά τμήμα του διαγράμματος H-R, βρίσκονται στις τελευταίες φάσεις της ζωής τους. Είναι 9 έως 10 μεγέθη αμυδρότεροι από τους αστέρες της Κυρίας Ακολουθίας που

www.diavlosbooks.gr

έχουν την ίδια επιφανειακή θερμοκρασία και έτσι ξεχωρίζουν από τους ερυθρούς νάνους που καταλαμβάνουν το κάτω μέρος της Κυρίας Ακολουθίας. Κύριο χαρακτηριστικό των λευκών νάνων είναι ότι στο εσωτερικό τους έχουν σταματήσει όλες οι θερμοπυρηνικές συντήξεις, ενώ η ακτινοβολία τους είναι μια απλή εξωτερίκευση της υψηλής θερμοκρασίας που ήδη υπάρχει στο εσωτερικό τους.



Υπάρχουν και άλλες κατηγορίες αστεριών, όπως οι υπογίγαντες και οι υπονάνοι, που όμως θα συζητηθούν στο ειδικό κεφάλαιο της αστρικής εξέλιξης. Πεθαίνοντας ένα άστρο, ανάλογα με τη μάζα του, θα καταλήξει να γίνει λευκός νάνος, ή άστρο νετρονίων, ή μαύρη τρύπα ή θα διαλυθεί εντελώς μετά από μια βίαιη έκρηξη.

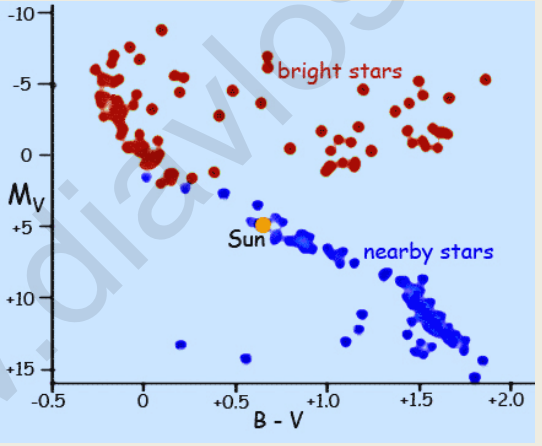
Αρκετά άστρα πεθαίνουν με βίαιες εκρήξεις, δημιουργώντας υπερκαινοφανείς αστέρες. Οι αστρικοί πυρήνες που απομένουν μετά από αυτές τις βίαιες εκρήξεις, καταλήγουν σε αστέρες νετρονίων ή μαύρες τρύπες, που —όπως θα δούμε σε ιδιαίτερη ενότητα— αποτελούν τα πιο ενδιαφέροντα ουράνια σώματα. Άλλα άστρα πεθαίνουν λιγότερο βίαια, αποβάλλοντας τον

www.diavgeiabooks.gr

εξωτερικό φλοιό τους σαν ένα πλανητικό νεφέλωμα, ενώ ο θερμός κεντρικός πυρήνας τους προορίζεται να γίνει λευκός και στη συνέχεια μελανός νάνος.
Το διάγραμμα H-R, όπως θα δούμε στη συνέχεια, είναι ένα απαραίτητο εργαλείο για τη μελέτη των φάσεων της ζωής ενός άστρου.

Η λογική του διαγράμματος H-R

Είναι χαρακτηριστικό ότι όλοι οι φοιτητές μας, όταν για πρώτη φορά ενημερώνονται για το διάγραμμα H-R, δεν μπορούν να καταλάβουν πώς αυτή η απλή διάταξη των αστεριών μάς βοηθάει να μελετήσουμε τις φάσεις της ζωής ενός άστρου.
Για να λύσουν αυτήν την απορία τους, τούς δίνουμε πάντα το επόμενο απλό παράδειγμα.



Ας φανταστούμε ότι κάποιοι εξωγήινοι επισκέπτονται τη Γη για πρώτη φορά και έχοντας στη διάθεσή τους μόνο 24 ώρες θέλουν να μελετήσουν την ενεργειακή κατάσταση των ανθρώπινων κυττάρων όλων των δυνατών ηλικιών.
Υπάρχουν δύο τρόποι επίτευξης του σκοπού τους.

www.diavlosbooks.gr

α) Ο πρώτος είναι να μελετήσουν τα κύτταρα ενός και μοναδικού ανθρώπου από τη στιγμή της γέννησής του μέχρι τον θάνατό του.
Η μέθοδος αυτή όμως είναι μη εφαρμόσιμη, εφ' όσον αφ' ενός μεν οι εξωγήινοι δεν έχουν παρά μόνον 24 ώρες στη διάθεσή τους, αφ' ετέρου δε ο άνθρωπος τον οποίο θα επιλέξουν για να μελετήσουν τα κύτταρά του, μπορεί να μην εξαντλήσει όλες τις ηλικιακές περιόδους κατά τη διάρκεια της ζωής του ή ακόμα να παρουσιάζει κάποια ιδιομορφία στα κύτταρά του.
β) Ο δεύτερος τρόπος είναι να μελετήσουν κατά τη διάρκεια των 24 ωρών τα ενεργειακά χαρακτηριστικά των κυττάρων όλων των κατοίκων μιας μεγαλούπολης της Γης και να φτιάξουν το διάγραμμα ηλικίας-ενεργειακής κατάστασης.
Στο διάγραμμα αυτό θα υπάρχουν τα ενεργειακά δεδομένα από κύτταρα όλων των δυνατών ανθρώπινων ηλικιών, που θα δίνουν τη δυνατότητα στους εξωγήινους με παρατηρήσεις μιας μόνο ημέρας να εκφράσουν άποψη για την εξέλιξη των ανθρώπινων κυττάρων μέσα στον χρόνο.
Το ίδιο επιτυγχάνουμε μέσω του διαγράμματος H-R. Επειδή ο χρόνος της ζωής μας είναι μια μόνο στιγμή της ζωής ενός άστρου και ως εκ τούτου δεν έχουμε τον χρόνο να παρατηρήσουμε ολόκληρο τον κύκλο εξέλιξης ενός και μοναδικού άστρου, επιλέγουμε τη δεύτερη από τις προηγούμενες μεθόδους. Μελετάμε, δηλαδή, σε σύντομο χρονικό διάστημα τα ενεργειακά χαρακτηριστικά ενός μεγάλου αριθμού αστεριών, μέσω των φασμάτων τους και τα τοποθετούμε σε ένα διάγραμμα αντίστοιχο με το διάγραμμα H-R.
Με τον τρόπο αυτόν μπορούμε να γνωρίζουμε όλες τις δυνατές περιπτώσεις της εξέλιξης ενός αστεριού, και έτσι μέσω των αρχικών φυσικών χαρακτηριστικών του μπορούμε να

www.diavlosbooks.gr

προβλέψουμε τις δυνατότητες εξέλιξής του στο απώτατο μέλλον.
Σημειώνουμε ότι εκτός από τους γίγαντες και υπεργίγαντες ως προς την εξέλιξη αστέρες υπάρχουν πραγματικά γίγαντες και υπεργίγαντες αστέρες σε διαστάσεις.

www.diavlosbooks.gr

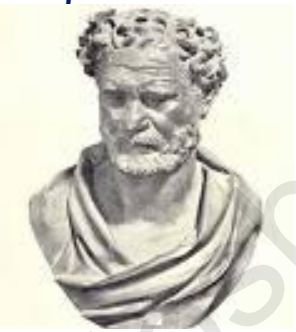
Το Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και η μελέτη του



Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Το σύνολο των μηκών κύματος στα οποία μπορούν να ακτινοβολήσουν μέλανα σώματα διαφόρων θερμοκρασιών, όπως ήδη έχουμε αναφέρει, αποτελεί το *«ηλεκτρομαγνητικό φάσμα»* της ακτινοβολίας τους.

Ηλεκτρομαγνητική Θεωρία



Πρώτοι οι Έλληνες προσωκρατικοί θετικοί επιστήμονες επισήμαναν ότι το φως είναι ένα φαινόμενο του φωτεινού αντικειμένου και ότι τα μάτια μας δεν είναι παρά απλοί δέκτες της εικόνας που το αντικείμενο αυτό εκπέμπει. Όπως αναφέρει ο Αλέξανδρος ο Αφροδισιεύς το βιβλίο του Σχόλιο στον Αριστοτέλη, Περί Αισθήσεως και Αισθητών, (σ.24, 14): *«Ο Δημόκριτος λέει ότι η όραση δεν είναι παρά η πρόσληψη της εικόνας που προέρχεται από τα αντικείμενα που βλέπουμε . Η εικόνα αυτή είναι η μορφή που εμφανίζεται στην κόρη του ματιού. Ο ίδιος πιστεύει, και πριν αυτόν ο Λεύκιππος και μετά από αυτόν οι οπαδοί του Επίκουρου, ότι κάποια ομοιώματα που ξεκολλούν (από τα αντικείμενα) έχοντας σχήμα όμοιο μ' αυτά πάνε και πέφτουν πάνω στα μάτια αυτών που βλέπουν κι έτσι παράγεται η αίσθηση της όρασης».*

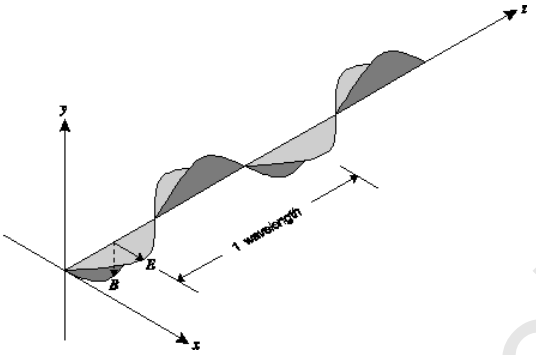
www.ziovlospooks.gr

Οι απόψεις αυτές του Λεύκιππου και του Δημόκριτου τους καθιστούν πατέρες και προάγγελους της σύγχρονης ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας του φωτός.
Σήμερα για την φύση του φωτός έχουν διατυπωθεί δύο βασικές θεωρίες η ηλεκτρομαγνητική και κβαντική θεωρία
Η ηλεκτρομαγνητική θεωρία διατυπώθηκε για πρώτη φορά από τον Maxwell και σύμφωνα με αυτήν το φως είναι ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα το οποία το οποίο έχει ως αφετηρία του ένα φωτοβόλο αντικείμενο και κινείται κατά την γεωμετρική διεύθυνση διάδοσης του φωτός.
Όπως είναι γνωστό ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα συντίθεται από δύο πεδία, ένα ηλεκτρικό και ένα μαγνητικό, τα οποία μεταβάλλονται τοπικά και χρονικά και είναι κάθετα διατεταγμένα μεταξύ τους.



Στην περίπτωση που τα δύο αυτά κύματα διαδίδονται στο κενό η ταχύτητά τους είναι 300.000 Km/sec.
Κατά την διάδοση ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος, όπως είναι το φως, μεταβιβάζεται ηλεκτρική και μαγνητική ενέργεια μεταξύ διαδοχικών και ανεξάρτητων μεταξύ τους σημείων του χώρου.

www.diaviosbooks.gr



Ενα ηλεκτρομαγνητικό κύμα συντίθεται από δύο πεδία, ένα ηλεκτρικό και ένα μαγνητικό, τα οποία μεταβάλλονται τοπικά και χρονικά και είναι κάθετα διατεταγμένα μεταξύ τους

Όπως πιστεύουμε σήμερα για την μελέτη των φαινομένων τα οποία παρουσιάζονται κατά την διάδοση του φωτός, αρκεί η μελέτη της συμπεριφοράς του ενός από τα δύο κύματα και συνήθως επιλέγουμε το ηλεκτρικό κύμα.

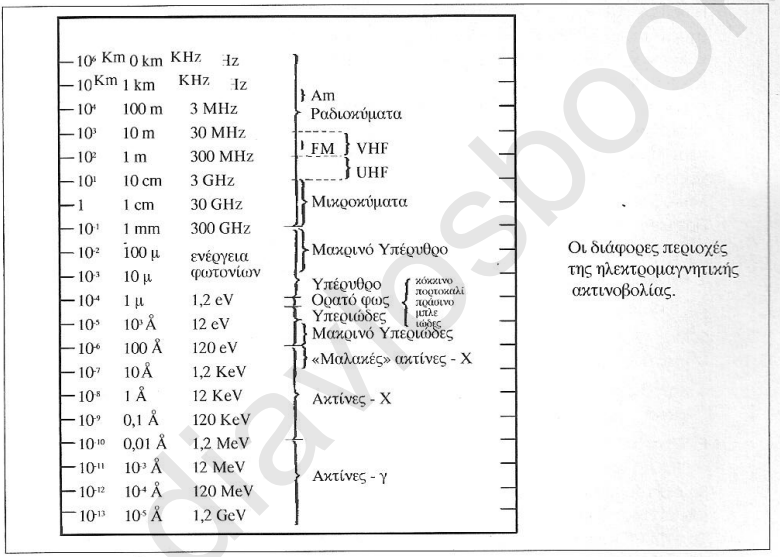
Η ορθότητα της θεωρίας του Maxwell αποδείχθηκε πειραματικά από τον Hertz.

Η ηλεκτρομαγνητική θεωρία του φωτός, όπως είναι φανερό καταργεί, εκ πρώτης όψεως, την κλασική άποψη περί γεωμετρικών ευθύγραμμων ακτίνων φωτός που επικρατούσε κάποτε. Σήμερα, υπό το πρίσμα της ηλεκτρομαγνητικής φύσης του φωτός, αυτό που κάποτε ονομάζαμε γεωμετρική φωτεινή ακτίνα δεν είναι τίποτα άλλο παρά ο γεωμετρικός τόπος, τον οποίο καταλαμβάνει διαδοχικά ένα σημείο μιας ισοφασικής επιφάνειας. Αυτό λοιπόν το οποίο ονομάζουμε φωτεινή ακτίνα είναι η τροχιά μεταβίβασης της ενέργειας μέσα σε κάποιο μέσο.

Όπως είναι φανερό η έννοια των φωτεινών ακτίνων αποδίδει μόνο κατά προσέγγιση την πραγματικότητα και μπορεί να

www.klavisbooks.gr

ερμηνεύσει μόνο κάποια από τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα κατά την διάδοση του φωτός.
Σαν παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε τα φαινόμενα ανάκλασης ή διάθλασης που μπορούν να ερμηνευθούν με την έννοια των φωτεινών ακτίνων ενώ δεν μπορούν να ερμηνευθούν τα φαινόμενα της συμβολής και της πόλωσης.
Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα διαιρείται στις επόμενες έξι κύριες φασματικές περιοχές:



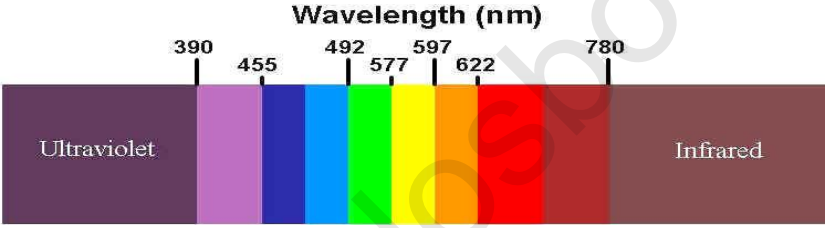
1. Ραδιοφωνική περιοχή, η οποία περιλαμβάνει πολύ μεγάλα μήκη κύματος από χιλιοστά του μέτρου μέχρι αρκετά χιλιόμετρα. Τα βραχέα ραδιοκύματα έχουν μήκη κύματος της τάξεως του μέτρου, δεκάτων, εκατοστών και χιλιοστών του μέτρου, όπου αρχίζουν τα όρια της υπέρυθρης περιοχής.
2. Υπέρυθρη περιοχή, αποτελούμενη από μήκη κύματος της τάξεως του χιλιοστού μέχρι και 10.000 Α περίπου.

www.diavlosbooks.gr

3. Ορατή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που περιλαμβάνει μήκη κύματος από 3.600 έως 6.900 Α.
Ορισμένες ακτινοβολίες με μήκη κύματος που περιλαμβάνονται στην ορατή περιοχή του φάσματος, έχουν την ιδιότητα να ερεθίζουν το αισθητήριο της ανθρώπινης όρασης (5.500±500Α). Όπως γίνεται φανερό η ακτινοβολία την οποία μπορούμε να δούμε, δηλαδή το ορατό φως, αποτελεί μόνο ένα μικρό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.
Στην ορατή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, τα διαφορετικά μήκη κύματος, όπως είναι γνωστό, ερεθίζουν με διαφορετικό τρόπο το αισθητήριο της όρασης δημιουργώντας την αίσθηση των διαφορετικών χρωμάτων. Έτσι το ιώδες φως έχει το μικρότερο ορατό μήκος κύματος, η πρασινοκίτρινη περιοχή του φάσματος (5.500 Α) αντιστοιχεί στην ακτινοβολία που αντιλαμβάνεται καλύτερα το μάτι μας και, τέλος, το ερυθρό φως αντιστοιχεί στο μεγαλύτερο μήκος κύματος.
Οι τρεις προηγούμενες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, εκτός ελαχίστων μηκών κύματος, δεν απορροφώνται από τη γήινη ατμόσφαιρα και, ως εκ τούτου, μπορούν να καταγράφονται από αστρονομικά όργανα που έχουν εγκατασταθεί στην επιφάνεια της Γης.
Αντιθέτως, οι επόμενες τρεις περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, δεν μπορούν να φθάσουν μέχρι την επιφάνεια της Γης, αφού τις απορροφά η γήινη ατμόσφαιρα. Για τον λόγο αυτόν ανιχνεύονται μόνο από αστρονομικά όργανα που είναι τοποθετημένα σε τεχνητούς δορυφόρους και διαστημόπλοια, τα οποία διαγράφουν τροχιές έξω απο τη γήινη ατμόσφαιρα.
Συνεπώς, σήμερα με τη βοήθεια ενός πλήθους σύγχρονων αστρονομικών οργάνων μπορούμε να ανιχνεύσουμε τη λεγόμενη μη ορατή ακτινοβολία.
Οι τρεις προαναφερθείσες περιοχές είναι οι ακόλουθες:

www.olympus-books.gr

4. Υπεριώδης περιοχή που περιλαμβάνει μήκη κύματος από 3.600 έως 1.000 Α.
5. Περιοχή ακτίνων Χ από 1.000 έως 1 Α.
6. Περιοχή ακτίνων γ, για ακτινοβολίες μήκους κύματος μικροτέρου του 1 Α. Ακτίνες γ εκπέμπονται από τους πυρήνες των ατόμων κατά τη διάρκεια θερμοπυρηνικής αντίδρασης ή από ραδιενεργά στοιχεία.
Ας δούμε, όμως, αναλυτικά τις διάφορες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και τα αντίστοιχα όργανα που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη τους.



Ορατή περιοχή

Πρέπει να επισημάνουμε το γεγονός ότι στην εποχή μας έγιναν και γίνονται τεράστιες αλλαγές στη λεγόμενη παραδοσιακή Παρατηρησιακή Αστρονομία στην ορατή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Οι φωτογραφικές πλάκες, για παράδειγμα, που για μια σχεδόν εκατονταετία ήταν το απαραίτητο εργαλείο πολλών παρατηρητών αστρονόμων, σήμερα αντικαθίστανται με ηλεκτρονικούς ανιχνευτές φωτός συνδεδεμένους με υπολογιστές —που καταγράφουν τα είδωλα των ουρανίων αντικειμένων στο ένα εκατοστό του χρόνου της έκθεσης που χρειαζόταν πριν— και οι οποίοι μπορούν να καταγράφουν τουλάχιστον δεκαπλάσια προσπίπτουσα ακτινοβολία και στη συνέχεια να τη μεταφράζουν σε ηλεκτρικά σήματα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι αντίστοιχες εικόνες να

www.diavgeiabooks.gr

μπορούν να αποθηκευτούν ηλεκτρονικά σε μαγνητικούς δίσκους και να εξετάζονται τη στιγμή που θα το θελήσει η ερευνητική ομάδα μέσω ειδικών προγραμμάτων στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές των αντίστοιχων εργαστηρίων.
Πάνω σ' αυτό το θέμα ο V. Trimble από το Πανεπιστήμιο του Maryland, στο IAU Symposium No. 161 «Astronomy from Wide-Field Imaging» (1993) στη σχετική ομιλία του ―An overview of Wide-Field Imaging― επεσήμανε χαρακτηριστικά τα εξής:
«Τελικά πιστεύω ότι η αστρονομική κοινότητα θα πρέπει να είναι έτοιμη να αντιμετωπίσει την πιθανότητα ότι όλα ή σχεδόν όλα τα φωτογραφικά υλικά οποιουδήποτε τύπου θα εξαφανιστούν στα επόμενα 10-20 έτη, καθώς αντικαθίστανται από ψηφιακούς και ηλεκτρονικούς ανιχνευτές φωτός που ήδη έχουν εισχωρήσει στο σπίτι μας, στη διασκέδασή μας, στην Ιατρική και σε πολλές άλλες περιπτώσεις. Αυτό θα συμβεί σύντομα ―άλλωστε πού βρίσκονται τα LP του χτες;»

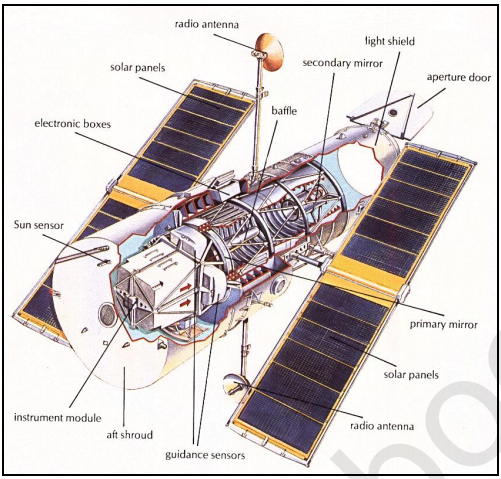
To Hubble Space Telescope



www.diavlosbooks.gr

Στις 24 Απριλίου του 1990, η NASA σε συνεργασία με την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος (E.S.A), χρησιμοποιώντας το διαστημικό λεωφορείο Discovery, έθεσε σε τροχιά γύρω από τη Γη σε ύψος 600 Km, το πρώτο διαστημικό κατοπτρικό τηλεσκόπιο διαμέτρου 2,4 μέτρων και εστιακού λόγου f/2,3. Η εστιακή απόσταση του πρωτεύοντος κατόπτρου είναι 5,5 m, ενώ η διαχωριστική ικανότητα του τηλεσκοπίου ισούται με 0,"1. Η συνολική προσπάθεια, λόγω πολλαπλών δυσκολιών, διήρκεσε επτά ολόκληρα έτη και κόστισε τελικά 3 δισεκατομμύρια δολάρια. Για την ιστορία αναφέρουμε ότι μόλις το 1920 ο Γερμανός αστροφυσικός Hermann Oberth (1894-1989), από τους πατέρες της Διαστημικής, διατύπωσε την πρωτοποριακή τότε ιδέα της κατασκευής ενός διαστημικού τηλεσκοπίου, το οποίο θα εκτελούσε παρατηρήσεις σε «ιδεώδεις» συνθήκες παρατήρησης. Το Διαστημικό Τηλεσκόπιο επειδή είχε ως κύριο σκοπό του τη μέτρηση της ηλικίας του Σύμπαντος, μέσω της μέτρησης των αποστάσεων των μακρινών γαλαξιών και των ταχυτήτων που απομακρύνονται από μας με βάση τον νόμο του Hubble, ονομάστηκε Hubble Space Telescope τιμώντας τον μεγάλο Αμερικανό αστρονόμο Edwin P. Hubble (1889-1953), που ανακάλυψε τη διαστολή του Σύμπαντος.

Το μοναδικό στο είδος του κυλινδρικό παρατηρητήριο έχει μήκος 13,1 m, διάμετρο κυλίνδρου 5 m και συνολικό βάρος 11,6 τόνων. Κινείται σε τροχιά που το επίπεδό της σχηματίζει γωνία 28,8° με το γήινο ισημερινό επίπεδο και η διάρκεια περιφοράς του είναι 95 πρώτα λεπτά της ώρας, εκ των οποίων τα 27-35 πρώτα λεπτά διανύονται κατά τη νύκτα. Ως κύρια όργανα παρατήρησης φέρει τέσσερις διατάξεις καταγραφής εικόνων και επεξεργασίας του φωτός που συγκεντρώνεται σε μια εστία Cassegrain. Η κυριότερη απ' αυτές είναι η *Πλανητική Κάμερα Ευρέος Πεδίου* (Wide Field Planetary Camera ή εν συντομία WFPC).



Επίσης το Hubble Space Telescope ή H.S.T είναι εφοδιασμένο με έναν *Φασματογράφο Αμυδρών Αντικειμένων* (Faint Object Spectrograph ή F.O.S), μια *Κάμερα Αμυδρών Αντικειμένων* (Faint Object Camera ή F.O.C), έναν *Φασματογράφο Goddard Υψηλής Ανάλυσης* (Goddard High Resolution Spectrograph ή G.H.R.S) και ένα *Φωτόμετρο Υψηλής Ταχύτητας* (High Speed Photometer ή H.S.P). Τα όργανα αυτά χρησιμοποιούνται προκειμένου να ολοκληρωθούν τρία βασικά ερευνητικά προγράμματα:

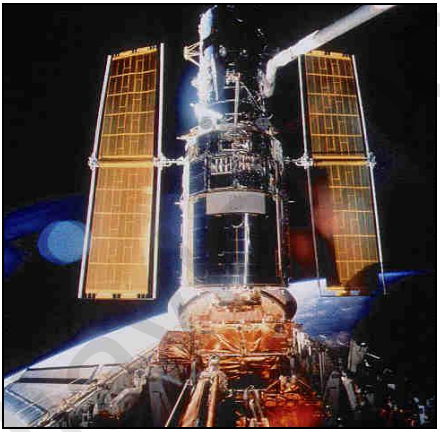
α. Η ανίχνευση όλο το 24άωρο των μακρινών γαλαξιών, οι οποίοι δεν διακρίνονται ευκρινώς από τα γήινα τηλεσκόπια.

β. Η παρατήρηση κοσμικών γεγονότων τα οποία θα πλουτίσουν τη γνώση μας γύρω από την πιθανή ύπαρξη και τη σύσταση της σκοτεινής ύλης του Σύμπαντος, και τέλος,

γ. Η μέτρηση της απόστασης μιας σχετικά κοντινής ομάδας γαλαξιών, του σμήνους γαλαξιών της Παρθένου, καθώς και των ταχυτήτων με τις οποίες απομακρύνονται από μας αυτοί οι

www.openbooks.gr

γαλαξίες κατά τον νόμο του Hubble, χρησιμοποιώντας τους μεταβλητούς κηφείδες.
Υπενθυμίζουμε ότι ο ρυθμός με τον οποίο αυξομειώνεται το φως των κηφείδων είναι ένας βασικός δείκτης αποστάσεων στο Σύμπαν (βλέπε σελίδα....). Αν, λοιπόν, είναι γνωστή η σχετική απόσταση ορισμένων ομάδων γαλαξιών, μπορεί κανείς να καταγράψει την απόσταση των κηφείδων στο σμήνος γαλαξιών της Παρθένου και απ' αυτό το γεγονός να υπολογίσει πόσο μακριά είναι όλες οι ομάδες γαλαξιών.



Βεβαίως, παράλληλα με τα τρία ανωτέρω προγράμματα, το HSTθα παρατηρεί πολλά άλλα ουράνια σώματα και γεγονότα. Η διακριτική ικανότητα του HST είναι δέκα φορές μεγαλύτερη από ένα αντίστοιχο γήινο οπτικό τηλεσκόπιο και μπορεί να παρατηρεί ουράνια αντικείμενα 100 φορές αμυδρότερα αρχίζοντας τις παρατηρήσεις του από το μακρινό υπεριώδες. Ένα αντίστοιχο επίγειο τηλεσκόπιο, προκειμένου να έχει τις αυτές επιδόσεις με το H.S.T θα έπρεπε να να έχει διάμετρο κατόπτρου 24m(!!).

Η φασματική περιοχή όπου εκτελεί τις παρατηρήσεις του το Διαστημικό Τηλεσκόπιο εκτείνεται ουσιαστικά από τα 115 nm (=1150 A) έως το 1 mm. Με το HST οι αστρονόμοι διαθέτουν παρατηρήσεις του έναστρου ουρανού όλο το 24ωρο επί 365 ημέρες τον χρόνο, δηλαδή *«μια μόνιμη νύχτα χωρίς σύννεφα»*, όπως ποιητικά παρατήρησε κάποιος παρατηρητής αστρονόμος.
Δυστυχώς, όμως, αμέσως μετά την εκτόξευσή του ανακαλύφτηκε ότι το βασικό κάτοπτρό του ήταν ελαττωματικό και εμπόδιζε την ακριβή εστίαση του φωτός, στέλνοντας έτσι «θολές» εικόνες στη Γη.
Η NASA τότε ανέλαβε την επισκευή του, που πραγματοποιήθηκε το πρώτο δεκαήμερο του Δεκεμβρίου 1993, στέλνοντας ειδικευμένους αστροναύτες με το διαστημόπλοιο Endeavour, που ακολουθούσε το HST επί 1.320.000 Km, πριν τελικά το προσεγγίσει Η επισκευή, που στοίχισε 629 εκατομμύρια δολλάρια, διήρκεσε 5 ημέρες και οι αστροναύτες, αφού έκαναν πέντε διαδοχικούς περιπάτους στο διάστημα, τοποθέτησαν στο HST έντεκα νέα εξαρτήματα (διορθωτικά κάτοπτρα κ.ά.). Τα κυριότερα όργανα που αφαιρέθηκαν ήταν το Φωτόμετρο Υψηλής Ταχύτητας (H.S.P), και η Πλανητική Κάμερα Ευρέος Πεδίου (WFPC). Στη θέση τους τοποθετήθηκαν το *Διορθωτικό Αξονικό Οπτικό Σύστημα Τηλεσκοπίου,* COSTAR (Corrective Optics Space Telescope Axial Replacement) και η κάμερα WFPC 2 αντίστοιχα. Ομοίως τοποθετήθηκαν νέα θερμομονωμένα στοιχεία, που αντικατέστησαν τα θερμοβολταϊκά, εκμηδενίζοντας έτσι μια πηγή δημιουργίας «θορύβου» της εικόνας.
Κύριος στόχος των επισκευών είναι να διατηρηθεί το HST τουλάχιστον μέχρι το 2005 για να ολοκληρώσει τα προγράμματα για τα οποία έχει σχεδιαστεί. Πιθανώς όμως ο χρόνος παραμονής του στο διάστημα να παραταθεί κατά πολύ, όπως ακριβώς συμβαίνει με τον διαστημικό σταθμό Μιρ.

Τον Φεβρουάριο του 1997, η NASA έστειλε το διαστημικό λεωφορείο Discovery για μια επιθεώρηση του HST.



Το Διαστημικό λεωφορείο
Discovery

Οι αστροναύτες Μαρκ Λη και Στίβεν Σμιθ, επιβαίνοντες του διαστημικού οχήματος Shuttle, τοποθέτησαν δύο νέα υπερσύγχρονα όργανα στο HST, ένα ειδικό όργανο παρατήρησης στο υπέρυθρο, το NICMOS (Near-Infrared Camera and Multi-Object Spectrometer) —που αντικατέστησαν τον GHRS και FOS— και έναν ταχύτατο φασματογράφο τον *Φασματογράφο Απεικόνισης του Διαστημικού Τηλεσκοπίου*, STIS (Space Telescope Imaging Spectrograph), όργανα πολύ χρήσιμα για παρατηρήσεις που θα μας βοηθήσουν να κατανοήσουμε τις συνθήκες και τα γεγονότα που αφορούν τη γέννηση και τον θάνατο των άστρων, καθώς και την αναζήτηση μελανών οπών. Ήδη σχεδιάζεται από τη NASA η επόμενη αποστολή συντήρησης του HST, που μάλλον θα πραγματοποιηθεί τον

www.ziavosbooks.gr

Νοέμβριο του 1999. Τότε θα αντικατασταθεί η WFPC 2 από μια κάμερα καινούργιας τεχνολογίας που καλείται HACE (Hubble Advanced Camera for Exploration).
Μέχρι σήμερα, μετά από τις παρατηρήσεις του HST, είμαστε σχεδόν βέβαιοι ότι:
1. Υπάρχει μια μελανή οπή στο κέντρο του γαλαξία NGC 4261, όπως και στον γαλαξία M87, όπου οι ταχύτητες περιστροφής της ύλης του πυρήνα του (500 Km/sec) μαρτυρούν την ύπαρξη τεράστιας μάζας στο κέντρο του.
2. Οι γαλαξίες δεν παραμένουν οι ίδιοι από την εποχή της δημιουργίας του Σύμπαντος μέχρι σήμερα, και πολύ πιθανόν οι ελλειπτικοί γαλαξίες να προέρχονται από σύγκρουση και συσσωμάτωση δύο σπειροειδών γαλαξιών.
3. Δεν επιβεβαιώθηκε, ή μάλλον διαψεύστηκε η υπόθεση ότι οι κβάζαρς αποτελούν πυρήνες κοινών γαλαξιών.
4. Οι παρατηρήσεις έδωσαν —μέσω της συσκευής WFPC 2— ένα σύνολο εικόνων στις οποίες εμφανίζονται εντυπωσιακά «κουκούλια», τα οποία μάλλον αποτελούν φάσεις της αστρικής δημιουργίας και μπορούν να εκληφθούν ως «εκκολαπτήρια» νέων αστέρων (Π. Νιάρχος και Β. Μανιμάνης, 1996).
Το βέβαιο είναι ότι οι παρατηρήσεις του HST θα συνεχιστούν με επιτυχία και τα επόμενα χρόνια. Άλλωστε η NASA έχει προγραμματίσει αποστολές συντήρησης τόσο για το 1999 —οπότε μάλλον θα τοποθετηθεί στο HST μια κάμερα προηγμένης τεχνολογίας— όσο και για το 2002, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η απρόσκοπτη λειτουργία του διαστημικού τηλεσκοπίου, τουλάχιστον έως το 2005.

Τα μεγάλα επίγεια τηλεσκόπια

Τη δεκαετία του ’80 παγκόσμια δέσποζαν δύο μεγάλα κατοπτρικά τηλεσκόπια: το τηλεσκόπιο του Καυκάσου και το

www.diavlosbooks.gr

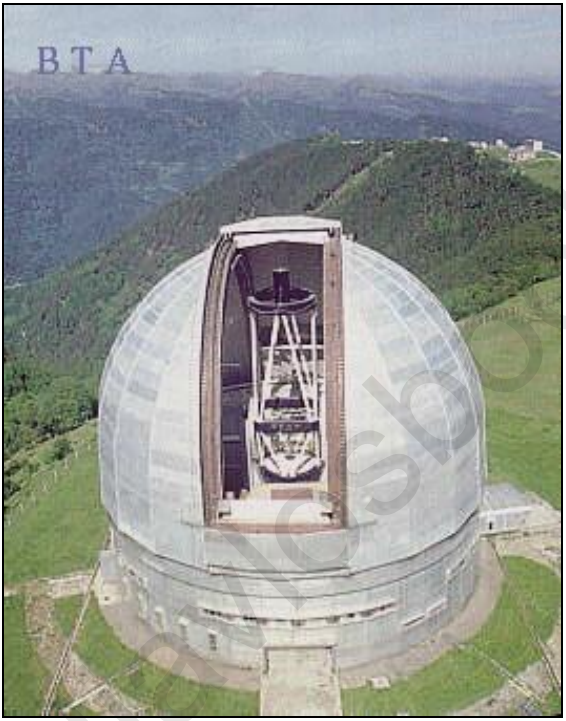
τηλεσκόπιο του Πάλομαρ. Το τότε σοβιετικό τηλεσκόπιο, που φέρει την ονομασία BTA (Bolshoi Teleskop Azimutalnyi) βρίσκεται στο όρος Παστούκνοφ (υψόμετρο 2.100 m) στην περιοχή Ζελενκούκσκαγια του Καυκάσου. Το κάτοπτρό του έχει διάμετρο 600 cm, η δε εστιακή απόστασή του είναι 2.400 cm. Κατασκευάστηκε το 1976 και λόγω του μεγάλου βάρους του έχει αλταζιμουθιακή στήριξη.

Ορισμένα από τα μεγαλύτερα τηλεσκόπια

ΟΝΟΜΑ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΙΔΙΟΚΤΗΣΙΑ	ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΥΨΟΣ
Keck 1	10 m	ΗΠΑ	Mauna Kea	4.200 m
Keck 2	10 m	ΗΠΑ	Mauna Kea	4.200 m
LBT	8,4 m	ΗΠΑ-Ιταλία	Mount Graham	3.170 m
Subaru	8,3 m	Ιαπωνία	Mauna Kea	4.250 m
VLT 1	8,2 m	Ευρώπη	Cerro Paranal	2.660 m
VLT 2	8,2 m	Ευρώπη	Cerro Paranal	2.660 m
VLT 3	8,2 m	Ευρώπη	Cerro Paranal	2.660 m
VLT 4	8,2 m	Ευρώπη	Cerro Pachon	2.660 m
Gemini North	8,1 m	Διεθνές	Mauna Kea	4.200 m
Gemini South	8,1 m	Διεθνές	Cerro Pachon	2.760 m
MMT	6,5 m	ΗΠΑ	Mount Hopkins	2.600 m
Magellan Project	6,5 m	ΗΠΑ	Las Campanas	2.400 m
BTA-6	6 m	Ρωσία	Pastuknov	2.400 m
Hale Telescope	5,08 m	ΗΠΑ	Mount Palomar	1.700 m

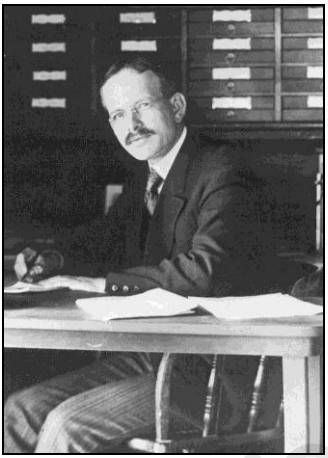
www.oiamathbooks.gr

Bolshoi Teleskop Azimutalnyi

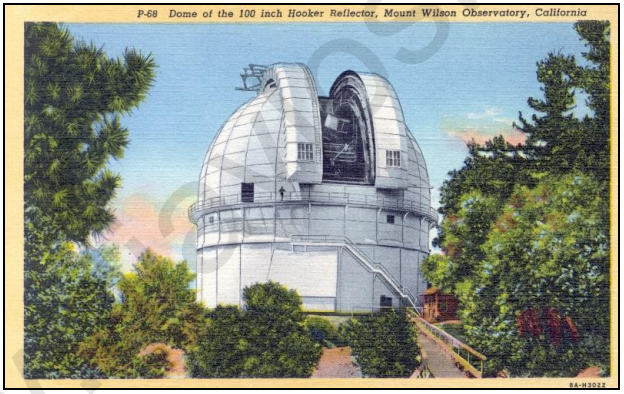


Το τηλεσκόπιο του Αστεροσκοπείου Mount Palomar (υψόμετρο 1.700 m) στην Καλιφόρνια (ΗΠΑ), έχει διάμετρο κατόπτρου 508 cm και εστιακή απόσταση 1.676 cm. Η επίσημη ονομασία του είναι George Ellery Hale Telescope, προς τιμήν του G.E. Hale —θεμελιωτή τριών μεγάλων αστεροσκοπείων— και η κατασκευή του ολοκληρώθηκε το 1948. Το τηλεσκόπιο αυτό, βάρους 500 τόνων, βρίσκεται στο Αστεροσκοπείο του Mt Palomar, απέχει δε 105 Km από το San Diego και 215 Km από την Pasadena.

www.diavlosbooks.gr



George Ellery Hale



George Ellery Hale Telescope

Τα αμέσως μικρότερα, αλλά σχετικά πιο σύγχρονο τηλεσκόπιο βρίσκεται στο Αστεροσκοπείο Kitt Peak στην Αριζόνα στις ΗΠΑ (1973), με διάμετρο κατόπτρου 381 cm και εστιακή απόσταση 1.070 cm. Καλείται τηλεσκόπιο Mayall, προς τιμήν του καθηγητή N. Mayall, που διετέλεσε διευθυντής του

www.ebooks.gr

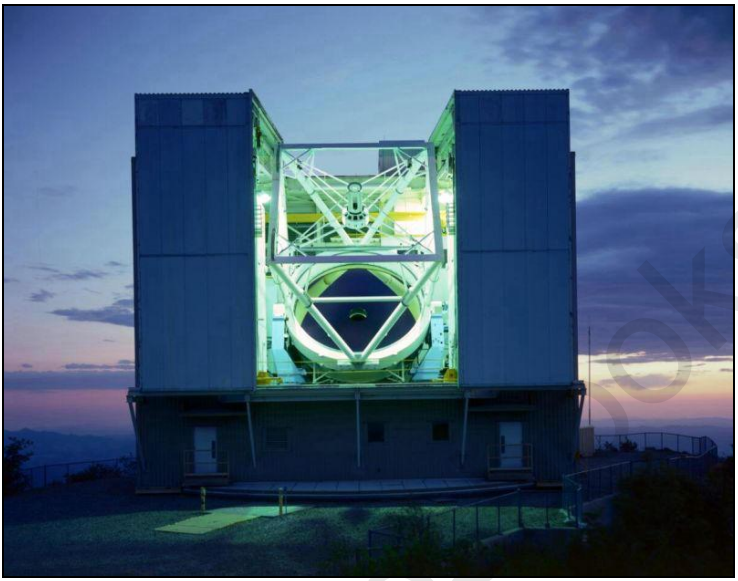
Αστεροσκοπείου από το 1960 έως το 1971. Ακολουθεί το δίδυμό του στο νότιο ημισφαίριο, που ανήκει στο Αστεροσκοπείο Cerro Tololo στη Χιλή (1976), με διάμετρο κατόπτρου 400,1 cm και εστιακή απόσταση 1.120 cm. Διεθνώς αναφέρεται ως CTIO, που σημαίνει Cerro Tololo Inter-American Observatory.

Το 1976, από τον μήνα Νοέμβριο άρχισε να εκτελεί παρατηρήσεις ένα κατοπτρικό τηλεσκόπιο διαμέτρου 357 cm και εστιακής απόστασης 1.085 cm στην περιοχή Cerro La Silla της Χιλής, σε υψόμετρο 2.400 m. Είναι γνωστό με την ονομασία Ευρωπαϊκό Τηλεσκόπιο του Νότου (European Southern Observatory, E.S.O) και έγινε με τη συνεργασία έξι ευρωπαϊκών χωρών (Βέλγιο, Γαλλία, Γερμανία, Δανία, Ολλανδία και Σουηδία).

Όσον αφορά την Αυστραλία, στο όρος Siding Spring εγκαταστάθηκε, το 1975, το Anglo-Australian Telescope, με διάμετρο κατόπτρου 389,3 cm και εστιακή απόσταση 1.270 cm. Τοποθετήθηκε στην Αυστραλία για τη μελέτη του νότιου ημισφαιρίου του ουρανού που είναι απρόσιτο από το Πάλομαρ.

Τέλος, το 1979 στην κορυφή του ανενεργού ηφαιστείου Mauna Kea —υψόμετρο 4.200 m— στη Χαβάη, η Γαλλία σε συνεργασία με τον Καναδά και με το Αστεροσκοπείο της Χαβάης εγκατέστησε κατοπτρικό τηλεσκόπιο διαμέτρου 360 cm και εστιακής απόστασης 1.353 cm. Το ίδιο έτος στο Αστεροσκοπείο Mount Hopkins —υψόμετρο 2.600 m— στην Αριζόνα εγκαταστάθηκε ένα εξαπλό κατοπτρικό τηλεσκόπιο συνολικής διαμέτρου 450 cm και εστιακής απόστασης 493,5 cm. Είναι γνωστό ως *Multiple Mirror Telescope* (MMT), που σημαίνει Τηλεσκόπιο Πολλαπλών Κατόπτρων.

www.dbooks.gr



MMT

Τον Απρίλιο του 1992 αντικαταστάθηκε το ελαττωματικό του κάτοπτρο στο University of Arizona Steward Observatory Mirror Laboratory, από ένα νέο κάτοπτρο διαμέτρου 6,5 m, και λειτουργεί πλέον με νέες προδιαγραφές, ως το *Smithsonian Telescope* των 6,5 m. Η αρχική ιδέα, στο επονομαζόμενο New Generation Telescope Concept, ήταν να λειτουργούν έξι μεγάλα κατοπτρικά τηλεσκόπια, με διάμετρο 10 m έκαστο, τα οποία θα τοποθετούνταν σε κυκλικό οριζόντιο δακτύλιο, έτσι ώστε να συμπίπτουν οι εστίες τους, δημιουργώντας έτσι ένα τηλεσκόπιο, η συνολική συλλεκτική επιφάνεια του οποίου θα αντιστοιχούσε σε κοίλη επιφάνεια διαμέτρου 25 m. Ένα σχέδιο, που για διάφορους λόγους δεν πραγματοποιήθηκε.

Μετά τα τηλεσκόπια αυτά της περασμένης πλέον γενιάς, οι αστρονόμοι σήμερα σχεδιάζουν τα οπτικά τηλεσκόπια του 21ου αιώνα.

www.ziavolosbooks.gr

Ήδη στη Χαβάη, στην κορυφή του Μάουνα Κέα (Mauna Kea) λειτουργούν τα παρακάτω τέσσερα σύγχρονα αμερικανικά τηλεσκόπια:

1. Το IRTF (Infrared Telescope Facility) της NASA των 320 cm, για το υπέρυθρο.



IRTF

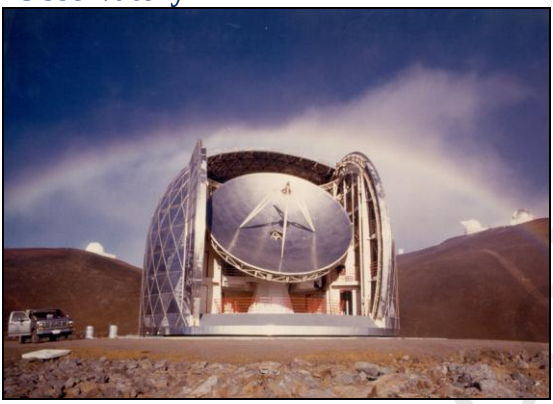
2. Το JCMT (James C Maxwell Telescope) των 2,2 m.



JCMT

www.diavlos.books.gr

3. Το CSO-Observatory



CSO-Observatory

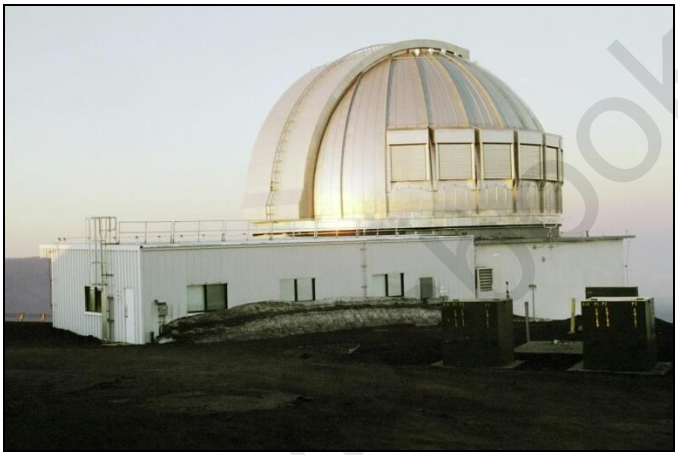
4. Ο Γολιάθ των σύγχρονων τηλεσκοπίων Keck 1 (1993), το μωσαϊκό κάτοπτρο του οποίου, διαμέτρου 10 m, έφερε πραγματική επανάσταση στην τεχνολογία των κατόπτρων. Το κάτοπτρό του αποτελείται από 36 μικρότερα εξαγωνικού σχήματος το καθένα με διάμετρο 1,80 m. Η ονομασία του οφείλεται στο φιλανθρωπικό ίδρυμα W.M. Keck, που χρηματοδότησε —κατά το μεγαλύτερο ποσοστό— την κατασκευή του.



Keck I και II

www.diavgosbooks.gr

Αντίστοιχα, η Ευρώπη διαθέτει στη Χαβάη το μεγαλύτερο στον κόσμο τηλεσκόπιο για το υπέρυθρο, το UKIRT (United Kingdom Infrared Telescope) των 3,8 m, καθώς και το CFHT (Canadian French Hawaian Telescope) των 3,6 m, που ήδη αναφέραμε.



Πέρα απ' αυτά, έντεκα συνολικά υπερτηλεσκόπια κατασκευάζονται ή θα κατασκευαστούν από την τελευταία τριετία του 20ού έως την πρώτη πενταετία του 21ου αιώνα. Τέσσερα θα είναι αμερικανικά, τέσσερα ευρωπαϊκά, ένα ιαπωνικό και δύο διεθνή. Από αυτά το Keck 2, δίδυμο τηλεσκόπιο —με τις ίδιες ακριβώς προδιαγραφές του Keck 1— κατασκευάζεται στην ίδια τοποθεσία στην κορυφή του όρους Μάουνα Κέα της Χαβάης. Απέχει μόλις 85 m από τον «δίδυμο αδελφό του» έτσι ώστε τα δύο τηλεσκόπια να συνδεθούν οπτικά και να λειτουργήσουν παράλληλα. Τότε η διακριτική τους ικανότητα θα ισοδυναμεί με αυτήν ενός τηλεσκοπίου με διάμετρο κατόπτρου 85 m.



Keck I και II

Στην ίδια κορυφή θα τοποθετηθεί το ιαπωνικό τηλεσκόπιο Subaru* (Japan National Large Telescope) με διάμετρο κατόπτρου 8,3 m, καθώς και το διεθνές Gemini Nord (ή North) με διάμετρο κατόπτρου 8,1 m.

Η Ευρώπη μέσω του ESO (European Southern Observatory) θα εγκαταστήσει στο Cerro Paranal στη Χιλή, σε ύψος 2.660 m, το VLT (Very Large Telescope), που θα αποτελείται από τέσσερα μεγάλα τηλεσκόπια με διάμετρο κατόπτρου 8,2 m.

Το διεθνές Gemini Sud (ή South) —δίδυμο τηλεσκόπιο, με τις ίδιες ακριβώς προδιαγραφές του Gemini Nord (ή North)— θα εγκατασταθεί στο Cerro Pachon της Χιλής, όπως και το Magellan Project, αυτό όμως θα κατασκευαστεί στην περιοχή Las Campanas. Το Magellan έχει διάμετρο κατόπτρου 6,5 m και θεωρείται το μικρότερο από τα υπερσύγχρονα αυτά τηλεσκόπια, μαζί με το ίδιας διαμέτρου Monolithic Mirror Telescope των Η.Π.Α., που θα κατασκευαστεί στο Mount Hopkins (U.S.A.). Στο Mount Graham, κοντά στην Τουσόν στην Αριζόνα, θα εγκατασταθεί το LBT (Large Binocular Telescope), με διάμετρο

www.diavlos-books.gr

κατόπτρου 8,4 m, που αποτελεί κοινή διακρατική ερευνητική προσπάθεια των Η.Π.Α. και της Ιταλίας.

---

* Όπως βλέπουμε, τα περισσότερα από τα σύγχρονα τηλεσκόπια έχουν τεχνικά ονόματα που υποδηλώνουν τις ειδικές δυνατότητές τους, εκτός από το ιαπωνικό, αφού Subaru στα γιαπωνέζικα είναι οι Πλειάδες. Το τεράστιο κάτοπτρό του πάχους 21 cm, και διαμέτρου 8,3 m λειάνθηκε και από τις δύο πλευρές του και μετά θερμάνθηκε στους 1.400 C για να δημιουργηθεί έτσι η επιθυμητή καμπυλότητά του.

Τα μεγάλα υπερσύγχρονα τηλεσκόπια,όπως ήδη αναφέραμε, θα τοποθετηθούν κυρίως στη Χαβάη και στη Χιλή. Και το εύλογο ερώτημα που ανακύπτει είναι: Τι είναι αυτό που κάνει τόσο προνομιούχες για την Παρατηρησιακή Αστρονομία τις δύο αυτές χώρες;

Η απάντηση συνδέεται απόλυτα με τις κλιματολογικές συνθήκες αυτών των χωρών. Στη Βόρεια Χιλή, στην έρημο Ατακάμα, στο Cerro Tololo, στο Cerro Paranal και στο Las Campanas, όπως και στην κορυφή του ανενεργού ηφαιστείου του όρους Μάουνα Κέα στη Χαβάη, επικρατεί ξηρό κλίμα —υδρατμοί σε μικρή ποσότητα— και ο ουρανός —όχι μόνον για τους τουρίστες, αλλά και για τους αστρονόμους— είναι καθαρός, απαλλαγμένος από σύννεφα πάνω από 6 ώρες την ημέρα για 300 ημέρες από τις 365 ημέρες του έτους. Στις δύο αυτές περιοχές, λοιπόν, επικρατούν οι ιδανικότερες συνθήκες για αστρονομικές παρατηρήσεις.

Αρχικά η γήινη Παρατηρησιακή Αστρονομία φαινόταν ότι είχε φτάσει στα όριά της μετά την κατασκευή του μεγάλου τηλεσκόπιου BTA-6 με διάμετρο κατόπτρου 6 μέτρων της πρώην Σοβιετικής Ένωσης στον Καύκασο.

www.diavlosbooks.gr



ΒΤΑ-6

Τα προβλήματα ξεκινούσαν αφ' ενός μεν από τον βαρύ βοηθητικό εξοπλισμό των μεγάλων τηλεσκοπίων, αλλά και από τα όρια που έβαζε η τότε κατασκευαστική Οπτική. Για παράδειγμα, ένα κάτοπτρο πάνω από τα 6 μέτρα σ' ένα τηλεσκόπιο γινόταν τόσο βαρύ, που η επιφάνειά του λύγιζε και παραμορφωνόταν. Έτσι ουσιαστικά εκμηδενιζόταν η αξία του και η υψηλή παρατηρησιακή ικανότητά του. Άλλωστε ήταν έργο πολύ δύσκολο, αν όχι ακατόρθωτο, η μεταφορά στο βουνό, η στήριξη και η σωστή τοποθέτηση ενός ενιαίου και συμπαγούς κατόπτρου, διαμέτρου πολλών μέτρων και βάρους αρκετών τόνων.

Από τότε όμως πέρασαν πολλά χρόνια και νέες βελτιωμένες-εξελιγμένες τεχνικές μπήκαν στον χώρο της Οπτικής και των ηλεκτρονικών που μας οδήγησαν στα σημερινά γιγάντια τηλεσκόπια. Επιπλέον, κατασκευάστηκαν κάτοπτρα με κυψελίδες, όπως τα 36 εξαγωνικά μικρά κατοπτρικά τηλεσκόπια, διαμέτρου 180 cm, των δύο Keck, μια εξαιρετική ιδέα του αστρονόμου Jerry Nelson του Πανεπιστημίου του

Berkeley. Τα κάτοπτρα των δύο Gemini, καθώς και των τεσσάρων VLT, θα αποτελούνται από λεπτούς μηνίσκους που θα ελέγχονται και θα ρυθμίζονται επί 24ώρου βάσεως από 172 βοηθητικούς κινητήρες. Σημειώνουμε ότι τα διεθνή τηλεσκόπια Gemini North και Gemini South, που χρηματοδοτούνται από Η.Π.Α. κατά 50%, το Ηνωμένο Βασίλειο κατά 25%, τον Καναδά κατά 15% και 10% επιμεριστικά από τη Χιλή, την Αργεντινή και τη Βραζιλία, θα τοποθετηθούν το ένα στο Βόρειο ημισφαίριο (Gemini North) και το άλλο στο Νότιο (Gemini South), ώστε να εξασφαλίζεται η συνεχής ολική κάλυψη του ουρανού.

Η ανάπτυξη της Αστρονομίας, μετά την αλματώδη βελτίωση των σχετικών τεχνικών, οδήγησε στην κατασκευή μεγάλων υπερσύγχρονων τηλεσκοπίων, και αυτό επειδή έπρεπε να αυξηθεί κατά πολύ η συνολική επιφάνεια συλλογής φωτός, έτσι ώστε οι ερευνητές να κερδίσουν σε «μέγεθος», φθάνοντας σε όλο πιο αμυδρά ουράνια σώματα.

Οι ειδικοί ερευνητές σχεδιάζουν ακόμη και συμβολομετρικά οπτικά τηλεσκόπια* —αρχικά τα δύο Keck, μετά τα τέσσερα τηλεσκόπια των 8,2 m του VLT— για να πετύχουν πολύ καλύτερη διακριτική ικανότητα, ενώ μέσα στα σχέδιά τους βρίσκεται και η τοποθέτηση ενός συμβολομετρικού τηλεσκοπίου στη Σελήνη!

---

* Σημειώνουμε πάντως ότι η κατασκευή μεγάλων οπτικών συμβολομέτρων δεν είναι πρακτικά δυνατή, γιατί είναι δύσκολο να επιτευχθεί —και να διατηρηθεί— η σωστή διαφορά φάσης στο ορατό και επίσης παρουσιάζει πολλά προβλήματα η ευθυγράμμιση των τηλεσκοπίων.

Οι αστρονόμοι αναμένουν ότι αυτή η νέα γενιά οπτικών τηλεσκοπίων με διάμετρο κατόπτρου 8 m ή και 10 m στην

www.diavasoo.gr

περίπτωση των Keck 1 και 2, θα έχει εξαιρετική διακριτική ικανότητα και με τα σύγχρονα βελτιωμένα οπτικά συστήματα θα μπορεί να μας εξασφαλίσει κάποια από τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα διαστημικά παρατηρητήρια, αλλά με πάρα πολύ μικρότερα έξοδα. Πράγματι, ο συμπιεσμός των εξόδων θα αποφέρει απρόσμενα έσοδα, που κι αυτά με τη σειρά τους θα διατεθούν για την έρευνα του έναστρου ουρανού.

Η προσπάθεια συνεχίζεται

Αρχικά, μετά την έξοδο της Παρατηρησιακής Αστρονομίας στο διάστημα, με το Hubble Space Telescope (HST, 1990), όλοι οι αστρονόμοι πίστεψαν ότι ήταν η αρχή του τέλους για τη γήινη Αστρονομία. Τα πράγματα, όμως, εξελίχτηκαν εντελώς διαφορετικά. Σύντομα φάνηκε ότι το HST δεν μπορούσε από μόνο του να ικανοποιήσει τις ερευνητικές ανάγκες της αστρονομικής κοινότητας. Επίσης, όπως ήδη αναφέραμε, μετά το 1990, ακολούθησε μια ραγδαία πρόοδος στην Οπτική, την Ηλεκτρονική, την Πληροφορική και άλλους τεχνολογικούς τομείς, που έδωσε τεράστια ώθηση στη γήινη Παρατηρησιακή Αστρονομία.

Σημειώνουμε ακόμη ότι μπορεί το HST να υπερτερεί από πλευράς διακριτικής ικανότητας και πεδίου στην οπτική και υπεριώδη περιοχή, τα γήινα τηλεσκόπια, όμως, υπερτερούν στο υπέρυθρο. Επιπλέον για ένα φάσμα γαλαξία που το Keck 1 το παίρνει σε 30 πρώτα λεπτά, απαιτούνται 8 ώρες παρατήρησης με το HST. Τέλος, υπενθυμίζουμε ότι το κόστος ενός νέου διαστημικού τηλεσκοπίου, που σε σημερινές τιμές ανέρχεται σε τουλάχιστον 100 δισεκατομμύρια δραχμές, ισοδυναμεί με το κόστος περίπου 30 τηλεσκοπίων τύπου Keck και είναι σχεδόν απαγορευτικό. Συνεπώς, φαίνεται ότι το μέλλον της αστρονομικής παρατηρησιακής έρευνας θα συνεχίσει να καθορίζεται κατά πολύ από τα γήινα τηλεσκόπια. Άλλωστε τα

www.diavlosbooks.gr

δώδεκα μεγάλα υπερτηλεσκόπια από το Keck 1 έως το Magellan Project, θα συγκεντρώνουν 100 φορές περισσότερα φωτόνια σε σχέση με το Hubble S.T.
Πάντως, παρ' όλα όσα αναφέραμε προηγουμένως, η ιδέα ενός υπερσύχρονου πολύ μεγάλου τροχιακού τηλεσκοπίου που θα είναι πολύ ισχυρότερο από το Hubble Space Telescope (HST) πάντα έλκει τους αστρονόμους . Έτσι, παρά το γεγονός ότι μόλις πρόσφατα παίρνουμε τις πρώτες ευκρινείς παρατηρήσεις από αυτό το διαστημικό τηλεσκόπιο, οι αστρονόμοι σχεδιάζουν ήδη τον αντικαταστάτη του. Το *Μεγάλο Διαστημικό Τηλεσκόπιο LST* (Large Space Telescope) ή Διαστημικό Τηλεσκόπιο Νέας Γενιάς NGST (New Generation Space Telescope), όπως θα ονομάζεται, θα είναι ο διάδοχος του HST. Θα φέρει κάτοπτρο με διάμετρο 6 ή 10 m, ενώ η διακριτική του ικανότητα θα είναι τουλάχιστον δεκαπλάσια από το HST, αρχίζοντας τις παρατηρήσεις του από το μακρινό υπεριώδες μέχρι το υπέρυθρο. Το LST —εκτός των άλλων— θα στραφεί και θα μελετήσει τις περιοχές του Σύμπαντος που θεωρούνται τόπος γέννησης νέων άστρων και θα λύσει πολλές απορίες μας για την υφή της μεσοαστρικής ύλης.
Πιθανόν αυτή η νέα τεράστια ώθηση που δίνεται στη γήινη Αστρονομία, με την παράλληλη βελτίωση της ευαισθησίας των νέων αστρονομικών οργάνων —σε συνεργασία βέβαια και με τα δορυφορικά παρατηρητήρια— να μας οδηγήσει σε μοναδικές αστρικές ανακαλύψεις.

Το αόρατο Σύμπαν

Κάθε αστέρι επειδή συμπεριφέρεται σαν μέλαν σώμα, παρουσιάζει μια συγκεκριμένη καμπύλη κατανομής ενέργειας, το μέγιστο της οποίας μεταβάλλεται από άστρο σε άστρο ανάλογα με τη θερμοκρασία του, συνεπώς και με τον φασματικό του τύπο. Ο επόμενος πίνακας μας δίνει τα μήκη κύματος στα

www.diavlos.gr

οποία εκπέμπουν το μέγιστο της ακτινοβολίας τους αστέρια διαφορετικών θερμοκρασιών.
Όπως γίνεται φανερό από τα προηγούμενα, μέσα στο Σύμπαν υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός αστεριών τα οποία αν και εκπέμπουν τεράστια ποσά ενέργειας, εντούτοις παραμένουν αόρατα για το ανθρώπινο μάτι. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα μήκη κύματος των εκπεμπόμενων από αυτά ακτινοβολιών δεν βρίσκονται στην ορατή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και μάλιστα σ' αυτήν που γίνεται ορατή από την ανθρώπινη όραση. Λόγω αυτού του γεγονότος, αν, παρατηρώντας τον ουρανό στα ορατά μήκη κύματος, θεωρήσουμε ότι κάποιο αστέρι είναι αμυδρό, αυτό δεν σημαίνει κατ' ανάγκη ότι η συνολική ενέργεια που εκπέμπει είναι μικρή. Είναι πολύ πιθανόν το αστέρι αυτό να εκπέμπει το μέγιστο της ακτινοβολίας του σε αόρατα για το ανθρώπινο μάτι μήκη κύματος, ενώ αντίστοιχα η ορατή ακτινοβολία που εκπέμπει να είναι ελάχιστη. Έτσι, το αμυδρό για τα μάτια μας αστέρι, μπορεί να παρουσιαστεί ως λαμπρότατο, αν παρατηρηθεί με κατάλληλα όργανα, στην περιοχή εκείνη του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος στην οποία εκπέμπει το μέγιστο της ακτινοβολίας του.
Από τα ανωτέρω, είναι φανερό ότι ένας ολόκληρος αστρικός κόσμος, ένα τεράστιο δηλαδή κομμάτι του Σύμπαντος, μένει αόρατο για τον άνθρωπο λόγω της σχετικής αδυναμίας τού αισθητηρίου της όρασής του.
Παράλληλα, όμως, και η ορατή εικόνα του Σύμπαντος παραμένει δραματικά πλαστή, εφ' όσον η αμυδρότητα ή αντίστοιχα η λαμπρότητα των αστεριών αποτελεί μια υποκειμενική ανθρώπινη αίσθηση και όχι μια αντικειμενική καταγραφή της ολικής ενέργειας που εκπέμπει ένα αστέρι!
Προκειμένου όμως να διερευνηθούν περιοχές του Σύμπαντος που παραμένουν αόρατες για το ανθρώπινο μάτι, επινοήθηκαν συλλέκτες ενέργειας, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να

www.diaviosbooks.gr

ανιχνεύουν ακτινοβολίες στην περιοχή των ραδιοκυμάτων, των ακτίνων Χ, των ακτίνων γ, στο υπέρυθρο και στο υπεριώδες. Με τον τρόπο αυτόν δημιουργήθηκαν ιδιαίτεροι κλάδοι της Αστροφυσικής με στόχο τη διερεύνηση του Σύμπαντος, όπως αυτό φαίνεται, μέσα από τις ακτινοβολίες αυτών ακριβώς των φασματικών περιοχών.

Ραδιοαστρονομία

Το 1931 ήταν ένα έτος σταθμός για τη σύγχρονη Αστροφυσική. Ο Karl Jansky (1905-1950), ένας Αμερικανός μηχανικός-ραδιοηλεκτρολόγος, πειραματιζόμενος με μια κεραία στα εργαστήρια της εταιρείας *Bell Telephon,* ανακάλυψε την ύπαρξη των ραδιοκυμάτων —δηλαδή μια σταθερή ακτινοβολία που προερχόταν από το διάστημα. Η ανακάλυψή του αυτή ήταν ο προπομπός της γέννησης της Ραδιοαστρονομίας. Οι έρευνες συνεχίστηκαν και το 1936 ο ηλεκτρονικός μηχανικός Grote Reber (1911-) κατασκεύασε στην αυλή του σπιτιού του —στο Ουίτον του Ιλλινόις— την πρώτη παραβολοειδή κεραία, συνέταξε τον πρώτο ραδιοχάρτη του Γαλαξία μας και χαρτογράφησε πολλές εξωγαλαξιακές ραδιοπηγές.

Στη συνέχεια η νέα αυτή περιοχή έρευνας της Αστρονομίας εξελίχθηκε ραγδαία. Μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, δημιουργήθηκε ένας νέος κλάδος της εξερεύνησης του Σύμπαντος, με τεράστιες εφαρμογές, η *«Ραδιοαστρονομία».*

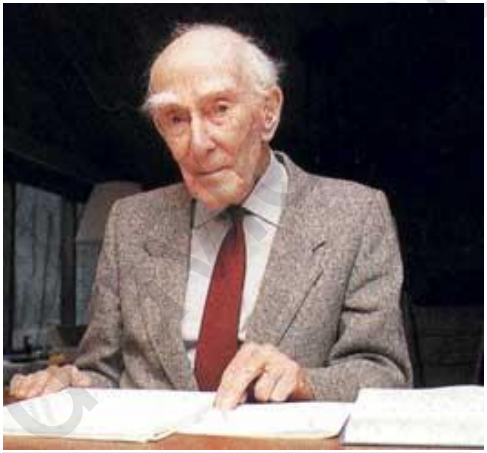
Η ραδιοφωνική ακτινοβολία που συλλέγεται από το διάστημα, ανάλογα με τη μορφή της, διακρίνεται, όπως και η ορατή, σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τη γραμμική και τη συνεχή.

Ιδιαίτερα πρέπει να σημειωθεί η σπουδαιότητα της γραμμής των 21 cm της ραδιοπεριοχής, την οποία εκπέμπει το ουδέτερο υδρογόνο. Μέσω της ανίχνευσης της ύπαρξης αυτής της γραμμής, έγινε δυνατή, το 1927, η ανακάλυψη της σπειροειδούς μορφής του Γαλαξία μας, από ομάδα Ολλανδών

www.diaviosbooks.gr

ραδιοαστρονόμων, με επικεφαλής τον καθηγητή Jan Hendrik Oort (1900-1992).

Όσον αφορά τη συνεχή ραδιοακτινοβολία, αυτή παράγεται σε περιοχές που υπάρχει ιονισμένο υδρογόνο. Τα ηλεκτρόνια στις περιοχές αυτές επιταχύνονται και εκτρέπονται από την αρχική τους τροχιά χωρίς να συλληφθούν από τον πυρήνα. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται *Free-Free Transition* (άλματα ηλεκτρονίων μεταξύ ελευθέρων σταθμών, ακτινοβολία πέδησης) και η ραδιοακτινοβολία που εκπέμπεται καλείται*«θερμική»,* επειδή εξαρτάται κυρίως από τις θερμικές κινήσεις των ηλεκτρονίων της περιοχής.



Jan Hendrik Oort (1900-1992

Η *μη θερμική* ραδιοακτινοβολία, οφείλεται σε κινήσεις ηλεκτρονίων μεγάλης ενέργειας μέσα σε μαγνητικό πεδίο. Τα ηλεκτρόνια στην περίπτωση αυτή ονομάζονται *«σχετικιστικά ηλεκτρόνια»* (relativistic electrons), διότι έχουν, στις περισσότερες περιπτώσεις, ταχύτητες που πλησιάζουν την

ταχύτητα του φωτός. Η παρατηρούμενη ακτινοβολία, που δημιουργείται κάτω από αυτές τις συνθήκες, ονομάζεται *«ακτινοβολία σύγχροτρον»* και αυτό, διότι παρατηρήθηκε για πρώτη φορά σε ένα σύγχροτρον, δηλαδή σ' έναν επιταχυντή, μια συσκευή που έχει τη δυνατότητα να παράγει ηλεκτρόνια ή άλλα υπατομικά σωματίδια-βλήματα υψηλής ενέργειας, που αποκτούν μεγάλη κινητική ενέργεια, γιατί βρίσκονται υπό τάση πολλών εκατομμυρίων Volt.

Τέλος, αυτό που πρέπει να σημειώσουμε είναι ότι ένα ραδιοτηλεσκόπιο όχι μόνο έχει τη δυνατότητα να συλλέγει ενέργεια από τις διάφορες ραδιοπηγές του Σύμπαντος, αλλά λειτουργώντας σαν ραντάρ, μπορεί και να εκπέμψει ραδιοκύματα προς άλλα ουράνια σώματα.

Μετά το VLA (Very Large Array) στο New Mexico, και το νέο μεγάλο ραδιοσυμβολόμετρο στην Πούνα των Ινδιών (1993), πολλών άλλων οργάνων προτείνεται η κατασκευή.

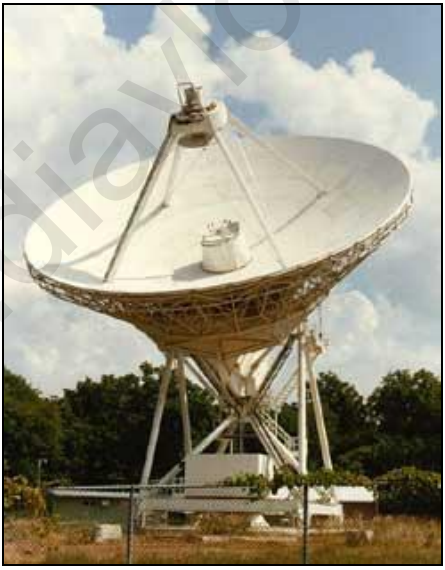


Very Large Array

Έτσι για την ανίχνευση ραδιοκυμάτων προτείνεται η *Διάταξη Χιλιοστομέτρων ΜΜΑ* (Milli-Meter Array), η οποία θα εγκατασταθεί πάλι στο New Mexico, και πιθανώς θα

λειτουργήσει μετά το έτος 2000. Η Διάταξη αυτή θα αποτελείται από 40 διαφορετικά τηλεσκόπια με δίσκο διαμέτρου 8 m το καθένα. Όλα αυτά θα συνδέονται ηλεκτρονικά και μ' αυτόν τον τρόπο θα δρουν σαν ένα τεράστιο τηλεσκόπιο. Η Διάταξη Χιλιοστομέτρων ΜΜΑ, ονομάστηκε έτσι από τα μήκη κύματος της ραδιοακτινοβολίας που θα μπορεί να ανιχνεύσει, αφού αυτά βρίσκονται μεταξύ ενός και δέκα χιλιοστών. Η διακριτική της ικανότητα θα είναι τρομερή, αφού θα μπορεί να διακρίνει δύο ουράνια σώματα που θα απέχουν μεταξύ τους μόλις 2×10^{-5} της μοίρας.

Προτείνεται ακόμα η Διάταξη Υποχιλιοστομέτρων, που θα εγκατασταθεί στη Χαβάη και η οποία θα είναι ευαίσθητη σε ακόμα μικρότερα μήκη κύματος. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές της θα διαθέτει τουλάχιστον έξι παραβολικές κεραίες διαμέτρου 6 m η καθεμία.

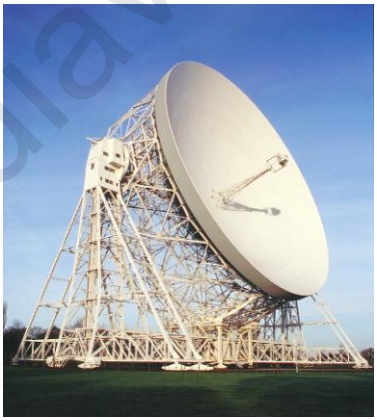


Very Long Baseline Array

www.diavlos.books.gr

Επίσης στη διάθεση των Ραδιοαστρονόμων βρίσκεται η *Διάταξη Πολύ Μεγάλης Βάσης* VLBA (Very Long Baseline Array), ένα σύνολο δέκα ραδιοτηλεσκοπίων διάσπαρτων στις Η.Π.Α, από τη Χαβάη ως την Καραϊβική, που όλα μαζί δρουν ενιαία σαν ένα τεράστιο ραδιοτηλεσκόπιο.
Τα σχέδια όμως δεν σταματούν εδώ, αλλά ξεπερνούν και την πιο γόνιμη φαντασία. Οι Ραδιοαστρονόμοι ονειρεύονται —αλλά και σχεδιάζουν— τα *Διαστημικά Συμβολόμετρα Πολύ Μεγάλης Βάσης*. Αυτά θα είναι ένα σύνολο υπερσύγχρονων ραδιοτηλεσκοπίων σε τροχιά γύρω από τη Γη, που θα συνδέονται με επίγειους αστρονομικούς σταθμούς με τέτοιες προδιαγραφές που θα ισοδυναμούν με ένα ραδιοτηλεσκόπιο το οποίο θα έχει διάμετρο μεγαλύτερη από την αντίστοιχη γήινη!
Πάντως με τα σύγχρονα ραδιοτηλεσκόπια διερευνάται συνεχώς ο χώρος, μέχρι την απόσταση των 12 δισεκατομμυρίων ετών φωτός.

Ραδιοτηλεσκόπια



Lovell

www.diavlos.gr

Τα Ραδιοτηλεσκόπια είναι δέκτες ραδιοφωνικών κυμάτων οι οποίοι συλλέγουν και καταγράφουν την ακτινοβολία που φθάνει στη Γη μέσα από το ραδιοφωνικό παράθυρο.
Τα ραδιοτηλεσκόπια ερευνούν πιο μακρινά ουράνια αντικείμενα σε σύγκριση με τα οπτικά τηλεσκόπια. Αυτό συμβαίνει διότι η ραδιοφωνική ακτινοβολία δεν επηρεάζεται από την παρουσία μεσοαστρικής ύλης. Ακόμα, έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθούν μέρα και νύχτα τις ραδιοπηγές, αρκεί αυτές να βρίσκονται πάνω από τον ορίζοντα, ενώ οι ραδιοπαρατηρήσεις δεν επηρεάζονται καθόλου από την ύπαρξη νεφών.
Αυτό που θα πρέπει όμως να σημειώσουμε είναι ότι μέσω των ραδιοτηλεσκοπίων δεν μπορούμε να δούμε τα ουράνια σώματα, αλλά απλώς διαβάζουμε τα ραδιοφωνικά σήματα τα οποία εκπέμπονται μέσω κάποιου καταγραφέα. Δηλαδή βλέπουμε και αναλύουμε εγγραφήματα.
Κατά κανόνα τα ουράνια σώματα που εκπέμπουν στο ορατό, εκπέμπουν και ραδιοφωνική ακτινοβολία.
Τα ραδιοτηλεσκόπια στην πιο απλή τους μορφή αποτελούνται από τον συλλέκτη ακτινοβολίας (receiver), που γενικά είναι μια κατευθυνόμενη μεταλλική παραβολοειδής επιφάνεια που καλύπτεται από ένα δικτυωτό μεταλλικό πλέγμα και καλείται κεραία λήψης (antenna).
Η ενέργεια που συλλέγεται από την κεραία λήψης συγκεντρώνεται στον δέκτη ακτινοβολίας που είναι ένα απλό δίπολο στην κυρία εστία της παραβολοειδούς επιφάνειας.
Στον δέκτη ακτινοβολίας γίνεται επιλογή των σημάτων, ανάλογα με τη συχνότητά τους. Έτσι η κεραία λήψης αντιστοιχεί με οπτικό τηλεσκόπιο, ενώ ο δέκτης ακτινοβολίας με φασματογράφο. Τελικά μέσω του δέκτη η προσπίπτουσα ραδιοφωνική ακτινοβολία μετατρέπεται σε διαφορά δυναμικού που μετά από ενίσχυση καταγράφεται.

www.diavlosbooks.gr

Σταθερά ραδιοτηλεσκόπια

Το μεγαλύτερο ακίνητο ραδιοτηλεσκόπιο του κόσμου γνωστό σαν RATAN-600 (Radio Astronomitskii Teleskop Akademii Nauk), βρίσκεται στην περιοχή Zelenchukskaya του Καυκάσου στο Αζερμπαϊτζάν της πρώην Σοβιετικής Ένωσης. Έχει τη μορφή



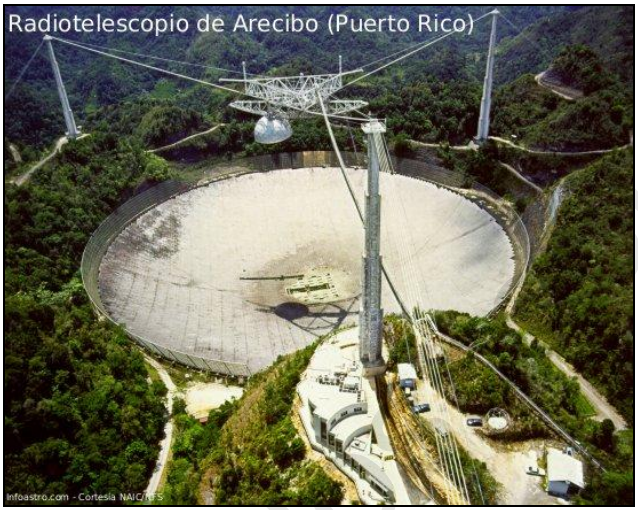
RATAN-600

δακτυλίου με διάμετρο 600 m και είναι τοποθετημένο περίπου στην ίδια περιοχή με το μεγάλο κατοπτρικό τηλεσκόπιο των 6 m. Αποτελείται από 900 παραβολικά κάτοπτρα, διαστάσεων 7,4 x 2 m τα οποία σχηματίζουν συνολική ανακλαστική επιφάνεια 12.600 m^2.

Το δεύτερο σε μέγεθος ακίνητο ραδιοτηλεσκόπιο βρίσκεται, από το 1960, στην κοιλάδα του Arecibo στο Puerto Rico και έχει διάμετρο 305 m. Ανήκει στο Πανεπιστήμιο του Cormell στις Η.Π.Α. Αρχικά η επιφάνειά του ήταν από δικτυωτό σύρμα και έτσι δεν είχε την αναμενόμενη απόδοση στα μικροκύματα. Γι' αυτόν τον λόγο οι ειδικοί τεχνικοί αποφάσισαν την κάλυψή του με φύλλα αλουμινίου, εργασίες που έγιναν κατά την

www.diavasmata.gr

περίοδο 1971 έως 1974, και η απόδοσή του βελτιώθηκε σημαντικά.



Arecibo

Ραδιοτηλεσκόπια με κατευθυνόμενη κεραία

Το μεγαλύτερο ραδιοτηλεσκόπιο με κατευθυνόμενη κεραία και διάμετρο 100 m βρίσκεται στο Effelsberg της Γερμανίας, κοντά στη Βόννη. Εγκαταστάθηκε εκεί το 1972 από το Ινστιτούτο Max Planck.

Το δεύτερο σε μέγεθος είναι το παραβολικό ραδιοτηλεσκόπιο του Green Bank στη Δ. Βιρτζίνια στις Η.Π.Α. με διάμετρο 92 m. Αυτό όμως κινείται μόνο κατακόρυφα δηλαδή παρατηρεί και καταγράφει ραδιοπηγές που περνούν από τον μεσημβρινό. Η συμβολή του ήταν και είναι τεράστια στην έρευνα για την επικοινωνία με εξωγήινους πολιτισμούς —προγράμματα SETI=**S**earch for **E**xtra-**T**errestrial **I**ntelligence και CETI=**C**ommunication with **E**xtra-**T**errestrial **I**ntelligence.

Τα ραδιοτηλεσκόπια έχουν μικρή διακριτική ικανότητα σε σχέση με τα οπτικά τηλεσκόπια, αφού όπως είδαμε **ω=1,22λ/D** (σε rad), και το μήκος κύματος λ για τα ραδιοτηλεσκόπια είναι της τάξεως των εκατοστών. Για να έχουν, λοιπόν, την ίδια διακριτική ικανότητα με τα οπτικά τηλεσκόπια, θα έπρεπε να έχουν πολύ μεγάλες διαμέτρους κεραιών λήψης.
Για τον λόγο αυτόν δημιουργήθηκαν τα σύνθετα ραδιοτηλεσκόπια, τα *ραδιοσυμβολόμετρα*, στα οποία έχουμε σύστημα δύο ή περισσοτέρων ραδιοτηλεσκοπίων σε σχετικά μεγάλες αποστάσεις μεταξύ τους, οπότε είναι σαν να έχουμε μόνο ένα ραδιοτηλεσκόπιο με διάμετρο ίση με την απόσταση που τα χωρίζει. Στο New Mexico στις Η.Π.Α αποπερατώθηκε το 1980 ένα τεράστιο σύνθετο ραδιοτηλεσκόπιο, το VLA (Very Large Array), που αποτελείται από 27 παραβολικές κεραίες με διάμετρο 25 m η κάθε μια, που σχηματίζουν ένα τεράστιο Υ, στο οποίο μπορούν αυτές να



VLA

Κάθε ένας βραχίονας του Υ έχει 9 κεραίες και μήκος περίπου 20,8 Km. Όταν οι 27 αυτές παραβολικές κεραίες είναι

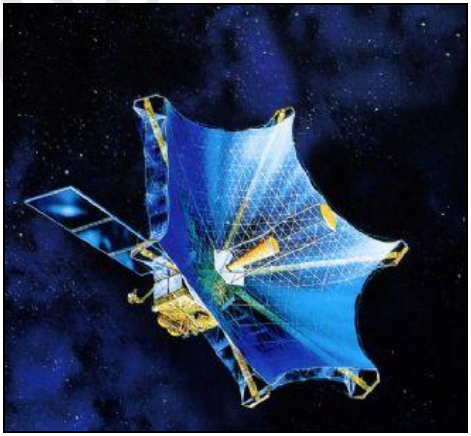
www.diavlos.gr

στραμμένες στο ίδιο σημείο του ουρανού ισοδυναμούν με ένα ραδιοτηλεσκόπιο διαμέτρου περίπου 40 Km. Ένα τελειοποιημένο ηλεκτρονικό σύστημα ρυθμίζει τον προσανατολισμό των κεραιών. Ένα ψυκτικό σύστημα διατηρεί τους δέκτες σε θερμοκρασία 258 βαθμούς κάτω από το μηδέν, εξαφανίζοντας τα παράσιτα και τέλος ένα σύμπλεγμα από ηλεκτρονικούς υπολογιστές επεξεργάζεται τα στοιχεία που συλλέγονται δίνοντας αποτελέσματα σε αριθμούς ή εικόνες σε λίγα δευτερόλεπτα.

Στην Ινδία, κοντά στην Puna αποπερατώθηκε το 1993 το πλέον σύγχρονο σύνθετο ραδιοτηλεσκόπιο του κόσμου το GMRTA (Giant Meterwavelenth Radio Telescope Array), το οποίο αποτελείται από 18 παραβολικές κεραίες, που σχηματίζουν ένα τεράστιο Υ, με 6 κεραίες σε κάθε ένα βραχίονα του ύψιλον, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

Ο συνδυασμός των ραδιοτηλεσκοπίων κοντά στην Puna της Ινδίας αποτελεί σήμερα τη σπουδαιότερη εγκατάσταση της σύγχρονης Ραδιοαστρονομίας.

Το διαστημικό ραδιοτηλεσκόπιο Muses-B



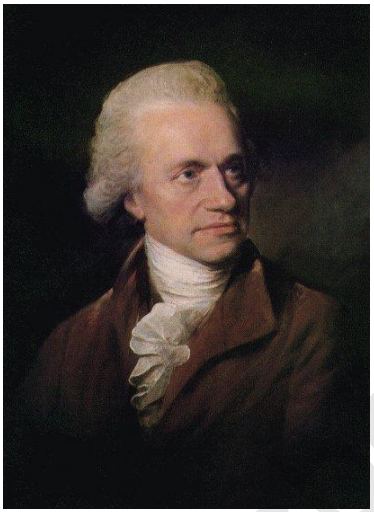
www.diavlosbooks.gr

Στις 12 Φεβρουαρίου του 1997, η Ιαπωνία έθεσε σε τροχιά το βάρους 850 κιλών διαστημικό ραδιοτηλεσκόπιο Muses-B, με έναν ιαπωνικό πυραυλικό φορέα τύπου M-5.
Το ραδιοτηλεσκόπιο αυτό, όπως δήλωσε ο καθηγητής Χισάσι Χιραμπάσι του Ινστιτούτου Διαστήματος και Αστροναυτικής Επιστήμης της Ιαπωνίας, είναι ένα εκατομμύριο φορές ισχυρότερο από το αμερικανικό Hubble, όσον αφορά δισδιάστατες εικόνες, και θα συνδεθεί με ένα δίκτυο 40 επίγειων ραδιοτηλεσκοπίων με στόχο τον εντοπισμό νέων πηγών μεγάλης ενέργειας μέσα στο Σύμπαν, όπως κβάζαρς και μελανών οπών.
Το διαστημικό ραδιοτηλεσκόπιο Muses-B αποτελεί μέρος ενός διαστημικού προγράμματος στο οποίο συμμετέχουν και άλλα ερευνητικά Ινστιτούτα, όπως το αμερικανικό Παρατηρητήριο Ραδιοαστρονομίας, το ευρωπαϊκό δίκτυο VLBI και η αυστραλιανή Ένωση Τηλεσκοπίων.

Αστρονομία υπερύθρου

Το 1840 ο *John Frederick William Herschel* (1792-1871) πειραματιζόμενος, τοποθέτησε ένα θερμόμετρο πέρα από την ορατή ερυθρή περιοχή του φάσματος. Η αύξηση της ένδειξης της θερμοκρασίας του οργάνου αποκάλυψε την ύπαρξη στην περιοχή αυτή αόρατων ακτινοβολιών με έντονα θερμικά αποτελέσματα. Η αόρατη αυτή ακτινοβολία ονομάστηκε *«υπέρυθρη»* και η ανακάλυψή της σηματοδότησε τη γέννηση ενός νέου κλάδου της Αστροφυσικής. Για περισσότερο από έναν αιώνα, οι προσπάθειες έρευνας της υπέρυθρης περιοχής του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος των ουρανίων σωμάτων δεν ήταν συστηματική και, ως εκ τούτου, δεν είχε δώσει σημαντικά αποτελέσματα.

www.diavlosbooks.gr



William Herschel (1792-

Πέρασαν αρκετά χρόνια από τότε και το 1960 ο *Douglas Kleinman* δουλεύοντας με επίγειο τηλεσκόπιο, ανίχνευσε την ύπαρξη υπέρυθρης ακτινοβολίας που προερχόταν από πέντε γαλαξίες Σέυφερτ (Seyfert, βλέπε: γαλαξίες, σελίδα.....). Η ανακάλυψη αυτή μετέβαλε ριζικά την ενεργειακή εικόνα του Σύμπαντος.

Οι γαλαξίες που αποτελούν πηγές υπέρυθρης ακτινοβολίας εκπέμπουν περίπου εκατό φορές περισσότερη ενέργεια στην υπέρυθρη περιοχή του φάσματος από όση στην ορατή περιοχή. Ακόμα και αν υποθέσουμε πως ένας μόνο γαλαξίας στους 100 είναι πηγή υπέρυθρης ακτινοβολίας, τότε καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η ελάχιστη αυτή γαλαξιακή μειονότητα απελευθερώνει τόση ενέργεια μέσα στο Σύμπαν, όση απελευθερώνουν οι υπόλοιποι 99 γαλαξίες μαζί στην ορατή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Συνεπώς, οι αόρατες θερμικές ακτινοβολίες υπερύθρου είναι τόσο

www.diavlosbooks.gr

σημαντικές για τον ενεργειακό προϋπολογισμό του Σύμπαντος, όσο και το ορατό φως των άστρων και των γαλαξιών. Λόγω, λοιπόν, της σπουδαιότητας που παρουσιάζει η μελέτη της υπέρυθρης ακτινοβολίας, ήδη από το 1983 έχει σταλεί στο διάστημα ο Αστρονομικός Δορυφόρος Υπερύθρου IRAS (**I**nfra-**R**ed **A**stronomical **S**atellite) για την πλήρη χαρτογράφηση του ουρανού. Ο IRAS ανίχνευσε εκατοντάδες άστρα κατά τη διαδικασία σχηματισμού τους. Επίσης, στις 17 Νοεμβρίου του 1995, στάλθηκε στο διάστημα το Infrared Space Laboratory (ISO) ανοίγοντας μια νέα εποχή στην Αστρονομία του υπερύθρου.

Σχεδιάζεται επίσης, ήδη από το 1997, η εκτόξευση στο διάστημα του *Στρατοσφαιρικού Παρατηρητηρίου Αστρονομίας Μακρινού Υπερύθρου SOFIA* (**S**tratospheric **O**bservatory for **F**ar **I**nfrared **A**stronomy).

Αυτό θα μας δώσει πλήθος πληροφοριών τόσο για την επιφάνεια όσο και για τις ατμόσφαιρες των πλανητών του ηλιακού μας συστήματος. Το SOFIA —που είναι αερομεταφερόμενο— θα φέρει κάτοπτρα μεγάλης συλλεκτικής ικανότητας και πλήθος άλλα αστρονομικά όργανα μεγάλης ακρίβειας και έτσι θα παρατηρεί, εκείνα τα μήκη κύματος που δεν μπορούν να διαπεράσουν τη γήινη ατμόσφαιρα· έχει προγραμματιστεί να μείνει στο διάστημα τουλάχιστον μέχρι το 2017.

Σχεδιάζεται επίσης το *Διαστημικό Τηλεσκόπιο Υπερύθρου SIRTF* (**S**pace **I**nfra-**R**ed **T**elescope **F**acility), βάρους πέντε τόνων και μήκους πέντε μέτρων, το οποίο προγραμματίζεται να σταλεί στο διάστημα το 2000 και θα τεθεί σε τροχιά γύρω από τη Γη σε ύψος 104.000 Km. Το SIRTF, το οποίο πιθανώς θα λειτουργήσει για πέντε συνεχή χρόνια, υπολογίζεται να είναι από 10^3-10^6 φορές πιο ευαίσθητο στις υπέρυθρες ακτινοβολίες

από τον IRAS και έτσι θα μπορεί να ανιχνεύει πηγές υπέρυθρης ακτινοβολίας κατά 10^3-10^6 φορές αμυδρότερες



Space **I**nfra-**R**ed **T**elescope **F**acility

. Θα έχει δέκα φορές καλύτερη διακριτική ικανότητα από τον IRAS και έτσι θα μπορεί να ανιχνεύει λεπτομέρειες γωνιώδους απόστασης μέχρι τα 0,0002 της μοίρας. Το Διαστημικό Τηλεσκόπιο Υπερύθρου θα ανιχνεύει και θα αναλύει την υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπουν πρωτοπλανητικοί δίσκοι αερίων γύρω από νεαρά άστρα και ίσως έτσι ανακαλυφθούν πλανητικά συστήματα στη φάση του σχηματισμού τους.

www.astrobooks.gr



Infra-**R**ed **O**ptimized **T**elescope

Προτείνονται επίσης και γήινα τηλεσκόπια υπερύθρου. Ένα από αυτά είναι το *Βελτιστοποιημένο Τηλεσκόπιο Υπερύθρου IROT* (**I**nfra-**R**ed **O**ptimized **T**elescope), με διάμετρο κατόπτρου 8 m, που θα στηθεί στη κορυφή του όρους Μάουνα Κέα (Mauna Kea) στη Χαβάη, πιθανώς μετά το 1998. Υπενθυμίζουμε ότι, όπως ήδη έχουμε αναφέρει, στη Χαβάη στην κορυφή του Mauna Kea ήδη λειτουργούν τα τηλεσκόπια υπερύθρου: IRTF=Infrared Telescope Facility της NASA των 320 cm, καθώς και —το μέχρις στιγμής μεγαλύτερο στον κόσμο τηλεσκόπιο για το υπέρυθρο—, το UKIRT=United Kingdom Infrared Telescope των 3,8 m.

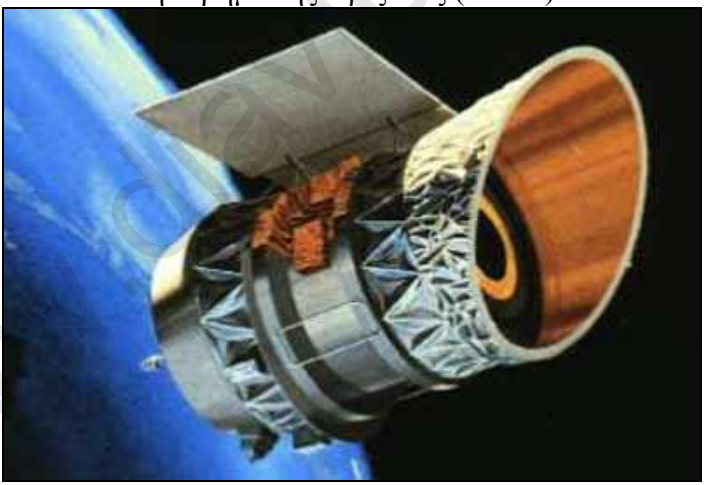
Το IROT, που θα κατασκευαστεί πάνω σε σύγχρονες —εξαιρετικά βελτιωμένες— τεχνικές και έχοντας μεγάλη συλλεκτική ισχύ, θα μπορεί και αυτό να λαμβάνει αρκετή ποσότητα φωτός από τους πρωτοπλανητικούς δίσκους και αναλύοντάς την στα μήκη κύματος που συνιστούν το φως, θα μπορεί να προσδιορίσει τη θερμοκρασία, την πυκνότητα και τη σύνθεση αυτών των δίσκων και έτσι θα προσφέρει στους αστρονόμους όλες εκείνες τις πληροφορίες που είναι χρήσιμες

www.diavlos-books.gr

για την κατανόηση του τρόπου σχηματισμού των πλανητών. Φυσικά το IROT θα εργάζεται τόσο στην υπέρυθρη όσο και στην ορατή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Οι νέες βελτιωμένες διατάξεις που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του IROT θα είναι ένα εκατομμύριο φορές πιο ευαίσθητες από όλους τους προηγούμενους ανιχνευτές της υπέρυθρης ακτινοβολίας.

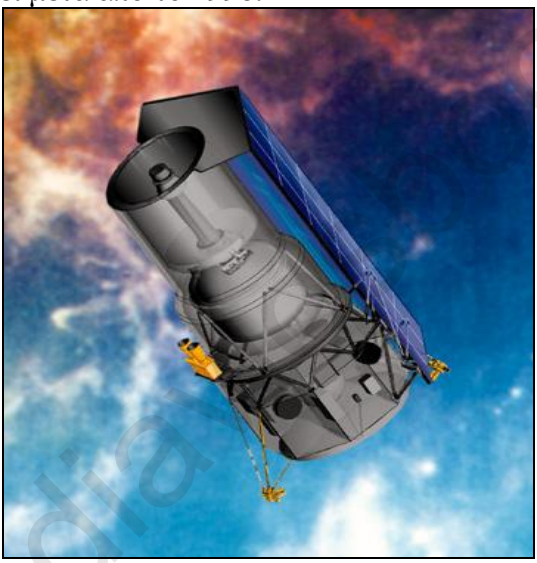
Εκτός από το IROT, τόσο στο ορατό όσο και στο υπέρυθρο θα λειτουργούν και τα μεγάλα τετράμετρα τηλεσκόπια, όπως και τα υπερσύγχρονα γιγάντια τηλεσκόπια νέας γενιάς, που ήδη περιγράψαμε, εφοδιασμένα πλέον με σύγχρονες τεχνικές, όπως η *προσαρμόσιμη οπτική* (adaptive optics) κ.ά.

Στα αμερικανικά σχέδια μεγάλων τηλεσκοπίων περιλαμβάνεται ακόμα το Columbus, με δύο μεγάλα τηλεσκόπια των 8,4 m, που θα λειτουργεί τόσο στο ορατό όσο και στο υπέρυθρο — όπως άλλωστε όλα τα σύγχρονα γιγάντια τηλεσκόπια— και θα εγκατασταθεί στην έρημο της Αριζόνας (U.S.A).



IRAS

Η Ευρώπη με τη σειρά της θα θέσει σε τροχιά το Ευρωπαϊκό Δορυφορικό Παρατηρητήριο Υπερύθρου, με δυνατότητες ενδιάμεσες μεταξύ του IRAS και του SIRTF, ενώ παράλληλα θα εγκαταστήσει, όπως ήδη αναφέραμε, στη Χιλή τέσσερα μεγάλα τηλεσκόπια με διάμετρο κατόπτρων 8 m το καθένα, που όλα μαζί θα αποτελέσουν το *Πολύ Μεγάλο Τηλεσκόπιο VLT* (**V**ery **L**arge **T**elescope), που πιθανώς —και αν όλα πάνε καλά— θα λειτουργήσει μετά από το 1998.



SIRTF

Αστρονομία υπεριώδους

Η αστρονομία υπεριώδους, όπως ήδη έχουμε αναφέρει, μελετά μια μικρή μόνο περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ακτινοβολιών που εκπέμπουν τα αστέρια, η οποία περιορίζεται σε μήκη κύματος μεταξύ 320 nm και 4,4 nm (1nm=1 νανόμετρο=1 δισεκατομμυριοστό του μέτρου 10^{-9} m). Δηλαδή

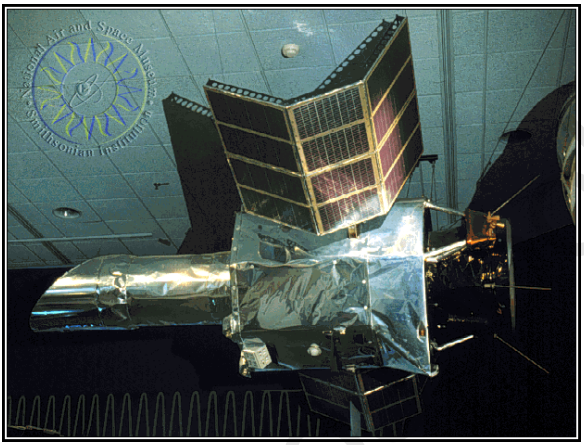
η υπεριώδης περιοχή εκτείνεται από τα όρια του ορατού φωτός μέχρι τις παρυφές των ακτίνων Χ.
Οι πρώτες συστηματικές παρατηρήσεις σ' αυτή τη φασματική περιοχή έγιναν το 1962 από το *Τροχιακό Ηλιακό Παρατηρητήριο OSO (Orbiting Solar Observatory)* στα πλαίσια μελέτης των ηλιακών εκλάμψεων και προεξοχών, καθώς και του ηλιακού ανέμου.



Orbiting Solar Observatory

Στις 26 Αυγούστου του 1972 ο αμερικανικός δορυφόρος *Copernicus* επεξέτεινε τις γνώσεις μας γύρω από τη φύση των αστεριών καταγράφοντας το υπεριώδες φάσμα πολύ νεαρών άστρων.
Η μελέτη του ουρανού στην υπεριώδη περιοχή συνεχίστηκε και σήμερα διαθέτουμε έναν σχεδόν πλήρη χάρτη του ουρανού σ' αυτή τη φασματική περιοχή, που περιλαμβάνει περισσότερες από 30.000 πηγές υπεριώδους ακτινοβολίας. Οι χάρτες αυτοί συντάχθηκαν μέσω του δορυφόρου TD-1 του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστημικής Έρευνας (ESPO).
Στις 26 Ιανουαρίου του 1978 εκτοξεύτηκε στο διάστημα ο πολυτιμότερος, όπως αποδείχτηκε, δορυφόρος για τη μελέτη της

υπεριώδους περιοχής του φάσματος των ουρανίων σωμάτων. Το όνομα που του δόθηκε ήταν, Διεθνής Εξερευνητής Υπεριώδους, ή εν συντομία *I.U.E. (International Ultraviolet Explorer).*



I.U.E

Αρχικός του στόχος ήταν η μελέτη πολύ θερμών άστρων και ειδικότερα των φυσικών χαρακτηριστικών τους, όπως το φαινόμενο μέγεθός τους, η θερμοκρασία τους και η χημική σύσταση της ύλης που τα περιβάλλει. Σύντομα όμως οι αρχικοί στόχοι ξεπεράστηκαν· ο I.U.E. άρχισε να μελετά αστέρια μακρινών αστρικών σμηνών και γαλαξιών, καθώς επίσης και τη σύσταση των μεσοαστρικών νεφών και αερίων.

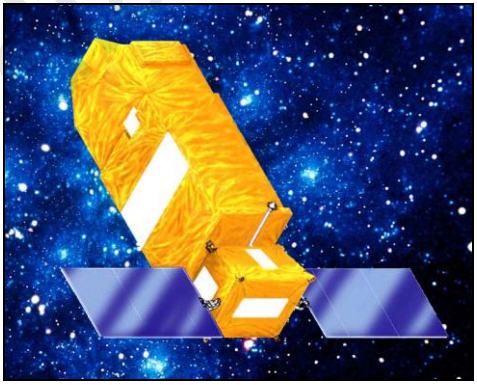
Πολύ σημαντική εξάλλου ήταν η ανακάλυψη του θερμού στέμματος του Γαλαξία μας, δηλαδή της άλω των αερίων που τον περιβάλλει. Η προσφορά του I.U.E. επεκτάθηκε ακόμα στη μελέτη της χημικής σύστασης των αερίων που περιβάλλουν τους κομήτες, των ατμοσφαιρών των μεγάλων πλανητών, καθώς επίσης και των δακτυλίων αερίου που περιβάλλουν τον Δία. Στο πεδίο της μελέτης των άστρων ο I.U.E. πρόσφερε σημαντικές

www.ebooks.gr

πληροφορίες για τη φύση και τις ιδιότητες των κλασικών μεταβλητών, των εκλειπτικών διπλών συστημάτων, των λευκών νάνων, των πλανητικών νεφελωμάτων, των αστέρων νετρονίων και των μελανών οπών. Ενδιαφέρουσες ακόμα ήταν οι παρατηρήσεις που έστειλε στη Γη, γύρω από φαινόμενα που συμβαίνουν στο κέντρο των σφαιρωτών σμηνών. Σημειώνουμε τέλος τη συμμετοχή του στην παρατήρηση του υπερκαινοφανούς (supernova) του 1987 στο Μεγάλο Νέφος του Μαγγελάνου, LMC (βλέπε σελίδα.....).

Εκτός από τον I.U.E., παρατηρήσεις εκτελεί στο υπεριώδες και το Διαστημικό Τηλεσκόπιο Hubble HST (Hubble Space Telescope), που τέθηκε σε τροχιά γύρω από τη Γη τον Απρίλιο του 1990 και όπως ήδη έχουμε αναφέρει, κάποιο σφάλμα που παρουσίασε, διορθώθηκε με ειδική διαστημική αποστολή τον Σεπτέμβριο του 1993.

Στη συνέχεια τέθηκαν σε τροχιά γύρω από τη Γη δύο δορυφόροι με όργανα ανίχνευσης στο υπεριώδες· ο *Εξερευνητής Φασματοσκοπίας Μακρινού Υπεριώδους FUSE* (**F**ar **U**ltraviolet **S**pectroscopy **E**xplorer) και ο *Εξερευνητής Απώτατου Υπεριώδους EUVE* (**E**xtreme **U**ltra-**V**iolet **E**xplorer).



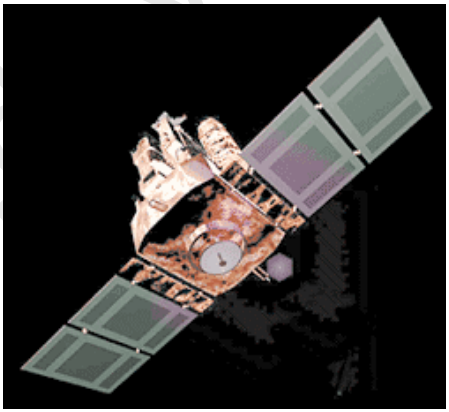
FUSE

www.diavlosbooks.gr

Σημειώνουμε ότι το Απώτατο Υπεριώδες (Extreme Ultraviolet) εκτείνεται από 60 έως 912 Α. Ο δορυφόρος EUVE βάρους 3 τόνων, κινείται σε τροχιά γύρω από τη Γη ύψους 520 Km και φέρει τέσσερα μικρά κατοπτρικά τηλεσκόπια που εκτελούν παρατηρήσεις στις ζώνες (bands) μηκών κύματος 50-180 Α, 160-240 Α, 370-600 Α και 500-740 Α.

Στο μακρινό υπεριώδες, κυρίως όμως στην ασθενή ζώνη των ακτίνων Χ, εκτελεί παρατηρήσεις, ήδη από τον Απρίλιο του 1993, και ο τεχνητός δορυφόρος ALEXIS (**A**rray of **L**ow **E**nergy **X**-ray **I**maging **S**ensors), ένας μικρός, αλλά αποδοτικός τεχνητός δορυφόρος.

Σε τροχιά, από τον Δεκέμβριο του 1995, βρίσκεται και το Ευρωπαϊκό διαστημόπλοιο SOHO (**SO**lar **H**eliospheric **O**bservatory), που περιλαμβάνει όργανα παρατήρησης στο υπεριώδες, τα οποία θα επιτρέψουν τη μελέτη της μεταβατικής περιοχής, χρωμόσφαιρας-στέμματος και της σύνδεσης των δυναμικών φαινομένων, που συμβαίνουν σ' αυτήν με το στέμμα και τη χρωμόσφαιρα.



SOHO

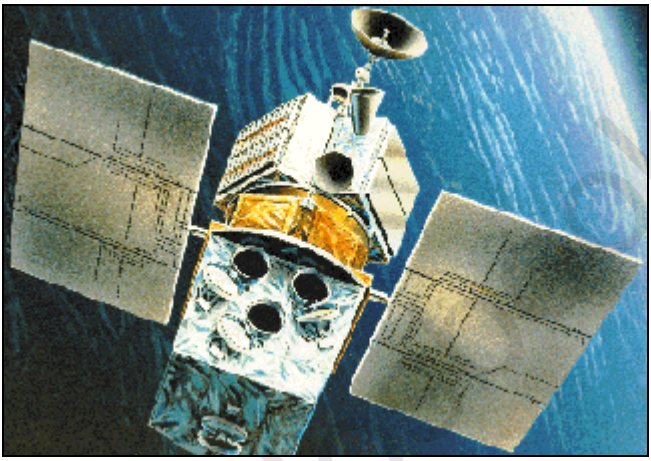
Αστρονομία ακτίνων Χ

Στις 18 Ιουνίου του 1962 οι αστρονόμοι *R. Giacconi, H. Gursky, F. Paolini και B. Rossi* εξαπέλυσαν για αστρονομικούς σκοπούς μια ρουκέτα που έφθασε σε ύψος 225 χιλιομέτρων πάνω από την επιφάνεια της Γης. Τα όργανα με τα οποία ήταν εξοπλισμένη, κατέγραψαν τεράστιες ποσότητες ακτινοβολιών στην περιοχή των ακτίνων Χ, που προέρχονταν από την κατεύθυνση του αστερισμού του Σκορπιού. Η Αστρονομία των ακτίνων Χ είχε γεννηθεί. Στη συνέχεια μέχρι το 1970 οι παρατηρήσεις πηγών ακτίνων Χ γίνονταν με αερόστατα ή ρουκέτες και διαρκούσαν λίγα μόνο λεπτά της ώρας. Επανάσταση στην παρατήρηση αυτής της περιοχής του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος αποτέλεσε η εκτόξευση από την Κένυα, στις 12 Δεκεμβρίου του 1970, του αμερικανικού δορυφόρου *Uhuru,* που στη γλώσσα Σουαχίλι σημαίνει ελευθερία. Ο δορυφόρος αυτός εκτός από το ότι έφερε σύγχρονους ανιχνευτές ακτίνων Χ, είχε επιπλέον τη δυνατότητα να εκτελεί συνεχείς παρατηρήσεις για 429 ημέρες. Κατά τη διάρκεια των παρατηρήσεών του κατέγραψε και μελέτησε 339 πηγές ακτίνων Χ. Από τις πηγές αυτές οι 200 περίπου υπολογίζεται ότι ανήκουν στον Γαλαξία μας, ενώ οι υπόλοιπες σε άλλους γαλαξίες. Εκτός αυτού, οι παρατηρήσεις έδειξαν ότι από τις πηγές που ανήκουν στον Γαλαξία μας, το 10% περίπου είναι εκτεταμένες, ενώ οι υπόλοιπες είναι σημειακές και, ως εκ τούτου, είναι αδύνατον να μετρηθούν με ακρίβεια. Οι εκτεταμένες πηγές ακτίνων Χ καταλαμβάνουν μεγάλες περιοχές στον ουρανό και φαίνεται να προέρχονται κυρίως από τα νεφελώματα.

Μετά τον Uhuru, οι παρατηρήσεις στην περιοχή των ακτίνων Χ επεκτάθηκαν από τους δορυφόρους SAS-3, HEAO-1, HEAO-2 Ariel V και πολλούς άλλους. Σήμερα συνεχίζονται με τους ερευνητικούς δορυφόρους FUSE, EUVE, SOHO, RO.SAT,

www.diavasoo.gr

GRO, ASCA, RTXE, τον κοινό ολλανδο-ιταλικό δορυφόρο BeppoSAX, καθώς και όλους αυτούς που θα εκτοξευτούν στο προσεχές μέλλον (βλέπε στη συνέχεια).



EUVE

Σύμφωνα με κάποιες αρχικές υποθέσεις, οι ακτίνες Χ προέρχονταν από εκατομμύρια αστέρια σαν τον Ήλιο, που ήταν συγκεντρωμένα στην ίδια περιοχή του ουρανού ή κατ' άλλους από ηλεκτρόνια που εκινούντο με μεγάλες ταχύτητες μέσα σε μαγνητικά πεδία. Όμως οι θεωρίες αυτές γρήγορα καταρρίφθηκαν. Σήμερα, μετά από ακριβείς παρατηρήσεις, έχει επικρατήσει η άποψη ότι οι πηγές ακτίνων Χ είναι αστέρια τεράστιας πυκνότητας, των οποίων η ύλη βρίσκεται σε κατάσταση εκφυλισμού. Τέτοια αστέρια, γνωρίζουμε σήμερα ότι είναι οι λευκοί νάνοι, τα αστέρια νετρονίων, και οι μαύρες τρύπες. Η δυνατότητα εκπομπής ακτίνων Χ από μια μαύρη τρύπα αύξησε τη σημερινή πεποίθηση ότι αυτές δεν αποτελούν μόνο θεωρητικά κατασκευάσματα. Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός ότι σε πολλές περιοχές που υπάρχει υποψία ύπαρξης

μαύρης τρύπας, ανιχνεύτηκαν ακτινοβολίες στην περιοχή των ακτίνων Χ, πράγμα που ενθαρρύνει τη συνέχιση των ερευνών.
Κλασικό παράδειγμα αποτελεί η πηγή ακτίνων Χ, *Scorpius X-1* ύποπτη από παλαιά σαν μαύρη τρύπα.
Διάδοχός των τεχνητών δορυφόρων, που ήδη αναφέραμε, στη σύγχρονη εποχή θεωρείται το *Προηγμένο Αστροφυσικό Παρατηρητήριο Ακτίνων Χ* (AXAF, **A**dvanced **X** ray **A**strophysics **F**acility).



Advanced **X** ray **A**strophysics **F**acility

Το AXAF θα τεθεί σε τροχιά μάλλον το 1998 και σχεδιάζεται να παραμείνει στο διάστημα μέχρι το 2013. Κατασκευαστικά θα αποτελείται από ένα κύλινδρο μήκους 15 m, διαμέτρου 4 m και βάρους 13 τόνων. Σχεδιάζεται έτσι ώστε να διαθέτει δεκαπλάσια διακριτική ικανότητα από το Einstein Observatory (1978-1981), και συνεπώς θα διακρίνει ουράνια σώματα που θα απέχουν μεταξύ τους μόλις ένα δεκάκις χιλιοστό της μοίρας. Ανάμεσα στους άλλους επιστημονικούς στόχους του το AXAF θα αναλύει και την ακτινοβολία Χ που εκπέμπουν οι υπερκαινοφανείς.
Ο μελλοντικός προγραμματισμός εκτόξευσης τεχνητών επιστημονικών δορυφόρων, σύμφωνα με τις σχετικές ανακοινώσεις των καθηγητών L. Woltjer, προέδρου της IAU, και J. Trümpler, από το Ινστιτούτο Max Planck, στο κοινό

Ευρωπαϊκό και Ελληνικό Αστρονομικό Συνέδριο (JENAM ’97) στη Θεσσαλονίκη (1-4 Ιουλίου 1997) έχει ως εξής: Για το 1998 προγραμματίζονται να τεθούν σε τροχιά γύρω από τη Γη οι τεχνητοί δορυφόροι AXAF, από τη NASA, που ήδη αναφέραμε, και ο ρωσικός SPECTRUM-X. Για το 1999 ο XMM (**X**-ray **M**ulti **M**irror Mission), από την ESA, και ABRIXAS (**A BR**oad-band **I**maging **X**-ray **A**ll-sky **S**urvey) από τη Γερμανία.



A BRoad-band **I**maging **X**-ray **A**ll-sky **S**urvey

Για το 2000 προγραμματίζεται ο δορυφόρος CLUSTER, ενώ το 2001 ο ιαπωνικός ASTRO-E και ο ρωσικός INTEGRAL. Από το 2003 έως το 2013 προγραμματίζονται οι τεχνητοί δορυφόροι ASTRO-F, ROSETTA, MARS, MERCURY, FIRST και PLANCK, καθώς και το Διαστημικό Τηλεσκόπιο Νέας Γενιάς, NGST (**N**ew **G**eneration **S**pace **T**elescope).

www.diaboks.gr



X-ray Multi Mirror Mission

Τα σχέδια, όμως, για την κατάκτηση του διαστήματος δεν σταματούν, αφού τόσο η ESA, όσο και η NASA προγραμματίζουν την εκτόξευση μεγάλων τηλεσκοπίων ακτίνων Χ, όπως το XEUS και το HTXS.

Η ακτινοβολία Χ που προέρχεται από τα ουράνια σώματα παράγεται με τρεις διαφορετικές φυσικές διαδικασίες. Έτσι μπορούμε να πούμε ότι η ακτινοβολία Χ συνίσταται από ακτινοβολίες σύγχροτρον, πέδησης και προερχόμενες από εμφάνιση ενός αντίστροφου φαινόμενου Compton.

Η ακτινοβολία σύγχροτρον δημιουργείται όταν ηλεκτρόνια κινούμενα με σχετικιστικές ταχύτητες αναγκασθούν να κινηθούν κυκλικά, επιταχυνόμενα μέσα σε κάποιο μαγνητικό πεδίο.

Η ακτινοβολία πέδης προέρχεται από τη μετατόπιση ηλεκτρονίων από μια ελεύθερη κατάσταση σε μια νέα ελεύθερη κατάσταση. Η μετάπτωση αυτή δημιουργείται από την αλληλεπίδραση των ηλεκτρονίων με ιόντα πλάσματος.

Τέλος, αντίστροφο φαινόμενο Compton παρουσιάζεται όταν ένα ηλεκτρόνιο, κινούμενο με σχετικιστικές ταχύτητες επιδρά με ένα φωτόνιο χαμηλής ενέργειας. Στην περίπτωση αυτή το

www.kallipos.gr

ηλεκτρόνιο χάνει ένα μέρος της κινητικής του ενέργειας την οποία προσλαμβάνει το φωτόνιο.

Το παρατηρητήριο Αϊνστάιν και ο ROSAT

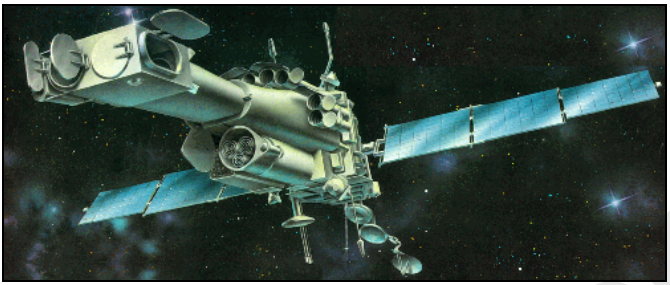
Ο πρώτος ερευνητικός δορυφόρος στην περιοχή των ακτίνων Χ ήταν το *Παρατηρητήριο Αϊνστάιν* (Einstein Observatory), που εκτοξεύτηκε το 1978 και παρέμεινε σε τροχιά μέχρι το 1981.



Einstein Observatory

Χρήσιμο εργαλείο στην υπηρεσία της αστρικής παρατήρησης στην περιοχή των ακτίνων Χ είναι ο πολυεθνικός δορυφόρος *RO.SAT (**Rö**ntgen **Sat**ellite)* —συνεργασία Γερμανίας, Η.Π.Α και Μ. Βρετανίας— που εκτοξεύτηκε την 1η Ιουνίου του 1990 εξοπλισμένος με ένα τηλεσκόπιο ακτίνων Χ. Ο δορυφόρος αυτός έχει διπλή αποστολή. Αρχικά σάρωσε μια συγκεκριμένη περιοχή και στη συνέχεια κατέστρωσε έναν χάρτη όλων των πηγών ακτίνων Χ που εντόπισαν οι ανιχνευτές του.

www.diavgeiakis.gr



ROSAT

Στη συνέχεια άρχισε και συνεχίζει μέχρι σήμερα τη λεπτομερή μελέτη πολλών πηγών ακτίνων Χ μέσα και έξω από τον Γαλαξία μας. Η αποδοτικότητά του ξεπέρασε τις προσδοκίες των επιστημόνων, αφού κατέγραψε ακτινοβολίες από τις εκρήξεις υπερκαινοφανών, σκέδαση της ακτινοβολίας των ακτίνων Χ από τον μεσοαστρικό κονιορτό, φαινόμενα βαρυτικών φακών καθώς και ένα πλήθος χρήσιμων παρατηρήσεων για τους περίφημους αστέρες νετρονίων και τις μελανές οπές.

Αστρονομία ακτίνων γ

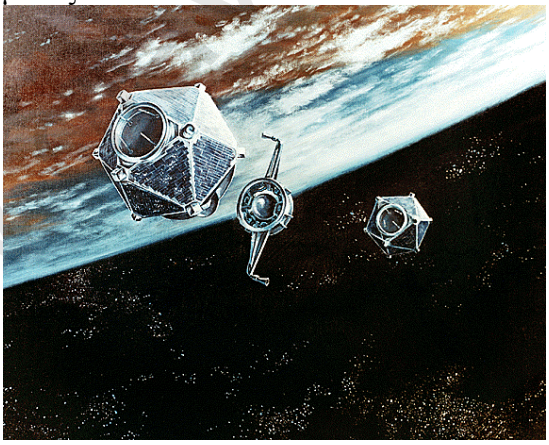
Οι ακτίνες γ είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία πολύ μικρού μήκους κύματος —της τάξης των 0,01 Α— που διαδίδεται ευθύγραμμα και δεν επηρεάζεται από την ύπαρξη ηλεκτρικού ή μαγνητικού πεδίου.

Το κομμάτι της Αστρονομίας που ασχολείται με την καταγραφή των ακτίνων γ, οι οποίες προέρχονται από τα βάθη του Σύμπαντος δημιουργεί εύλογες ελπίδες ότι θα λύσει πολλά από τα προβλήματα της σύγχρονης Αστροφυσικής. Η μεγάλη ενέργεια αυτής της ακτινοβολίας, την κάνει τόσο διεισδυτική, ώστε να μπορεί να μας μεταφέρει πληροφορίες από πολύ

www.giavlosbooks.gr

μακρινές γωνιές του Σύμπαντος. Καμιά άλλη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία δεν μπορεί να φθάσει μέχρι εμάς από τόσο μακριά, εφ' όσον απορροφάται από την ύλη που υπάρχει μεταξύ της πηγής και του παρατηρητή. Οι ακτίνες γ προέρχονται κυρίως από πυρηνικές αποδιεγέρσεις, εξαΰλωση ποζιτρονίων και άλλες πυρηνικές αντιδράσεις. Μας δίνουν πληροφορίες, για τον τρόπο με τον οποίον δημιουργούνται και εξελίσσονται τα χημικά στοιχεία στο Σύμπαν, καθώς επίσης και για τις πυρηνικές αντιδράσεις που δημιουργούνται στις διάφορες περιοχές του. Μέσω των ακτίνων γ, μπορούμε να μελετήσουμε τα αστέρια νετρονίων και τις μαύρες τρύπες, εφ' όσον η ακτινοβολία γ μπορεί να σπάσει τα δεσμά της τεράστιας βαρύτητας.

Αν γυρίσουμε πίσω στον χρόνο θα συμφωνήσουμε ότι το 1967 υπήρξε το έτος σταθμός στην ανάπτυξη αυτού του κλάδου της Αστροφυσικής. Την περίοδο εκείνη οι Αμερικανοί με τους δορυφόρους *VELA,* ήλεγχαν μέσω της καταγραφής τεχνητών πυρηνικών εκτονώσεων, την εφαρμογή της συμφωνίας απαγόρευσης πυρηνικών δοκιμών στο διάστημα που είχε υπογραφεί μεταξύ ΗΠΑ και ΕΣΣΔ το 1963.



VELA

Δύο από αυτούς τους δορυφόρους, σε κάποια στιγμή της περιπολίας τους, κατέγραψαν εκπομπές ισχυρής ακτινοβολίας γ, οι οποίες δεν είχαν καμιά σχέση με πυρηνικές δοκιμές, αλλά προέρχονταν από άγνωστα μέχρι εκείνη τη στιγμή ουράνια αντικείμενα. Μετά από μια σειρά επαληθεύσεων, στις πηγές αυτής της ακτινοβολίας δόθηκε το όνομα *«εκρηκτικές πηγές ακτινοβολίας γ» (Gamma ray busters).*

Η κοινοποίηση της ανακάλυψης αυτής έγινε το 1973 από τους *Klebesadel, Stong* και *Olson* και κέντρισε το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας. Όσον αφορά τη φύση των εκρηκτικών πηγών ακτινοβολίας γ, σήμερα πιστεύουμε ότι πρόκειται για αστέρια νετρονίων, αστέρια τα οποία συνοδεύονται από ισχυρά μαγνητικά πεδία.

Μία, κατ' αρχήν, επιβεβαίωση αυτής της άποψης είναι η ταύτιση της εκρηκτικής πηγής ακτίνων γ της 5ης Μαρτίου του 1979 με το υπόλειμμα Ν29 του υπερκαινοφανούς άστρου που βρίσκεται στο Μεγάλο Νέφος του Μαγγελάνου. Στην περιοχή αυτή, όπως πιστεύουμε, υπάρχει ένας αστέρας νετρονίων που δημιουργήθηκε μετά την έκρηξη του υπερκαινοφανούς (βλέπε υπερκαινοφανείς, σελίδα.....). Η πηγή αυτή εξέπεμψε στο μεσοαστρικό διάστημα — μέσα σε ένα δέκατο του δευτερολέπτου— πολύ μεγαλύτερα ποσά ενέργειας υπό μορφήν ακτίνων γ, από όσα θα ακτινοβολήσει ο Ήλιος μας στα επόμενα 1.000 χρόνια. Αρχικά για την παρατήρηση της ακτινοβολίας γ χρησιμοποιήθηκαν οι δορυφόροι SAS-2 (1972/3), ο COS-B (1975-1982) κ.ά. που πλούτισαν τις γνώσεις μας σ' αυτήν την περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Στη συνέχεια προκειμένου να ανιχνευθεί η ύπαρξη ουρανίων πηγών ακτινοβολίας γ, αλλά και για να διερευνηθούν τα αίτια που προκαλούν τη δημιουργία τους, το Διαστημικό Λεωφορείο Ατλαντίς, έθεσε σε τροχιά, τον Απρίλιο του 1991, τον δορυφόρο *Παρατηρητή Ακτίνων γάμμα GRO* (Gamma Ray Observatory),

www.diavlosbooks.gr

βάρους 16 τόνων και μήκους 21 m. Ο δορυφόρος αυτός φέρει τέσσερα όργανα μέτρησης: το COMPTEL (Compton Imaging Telescope), που καλύπτει περιοχές ενεργειών έως τα 30 MeV, το EGRET (Energetic Gamma Ray Telescope), που συνεχίζει έως την περιοχή των TeV, το OSSE (Oriented Scintilation Spectrometer Experiment) και το BATSE (Burst and Transient Source Experiment).



GRO

Ο Παρατηρητής Ακτίνων γάμμα GRO, θα στραφεί στην ανίχνευση και μελέτη των υπερκαινοφανών, ενώ ταυτόχρονα έχει προγραμματιστεί, κατά την πρώτη περίοδο της λειτουργίας του, να συντονίσει τις παρατηρήσεις του με εκείνες του *Διαστημικού Τηλεσκοπίου Hubble (HST)* που θα γίνουν στην ορατή περιοχή του φάσματος. Μετά τον τερματισμό αυτών των παρατηρήσεων, ο δορυφόρος GRO προβλέπεται να συντονίσει τις παρατηρήσεις του με εκείνες των δύο άλλων δορυφόρων, που ήδη αναφέραμε, του *AXAF* και του SIRTF.

Τον 21ο αιώνα οι Αμερικανοί επιστήμονες προγραμματίζουν να στείλουν στο διάστημα, έναν ακόμα ισχυρότερο ανιχνευτή ακτίνων γ, τον *Εξερευνητή Πυρηνικής Αστροφυσικής NAE* (**N**uclear **A**strophysics **E**xplorer), που θα ανιχνεύει ακτίνες γάμμα από υπερκαινοφανείς σε απόσταση 100 x 10^6 ετών φωτός.

Με τα ήδη υπάρχοντα τηλεσκόπια και με τα σύγχρονα αστρονομικά όργανα ανιχνεύεται το Σύμπαν, ενώ παράλληλα καταγράφονται και αναλύονται οι ακτινοβολίες από τα ουράνια σώματα. Με τα μελλοντικά τελειότατα τροχιακά και επίγεια τηλεσκόπια θα καταγραφούν άστρα που τώρα δεν φαίνονται ούτε με το ισχυρότερο τηλεσκόπιο, αν και βρίσκονται στην πλήρη εξέλιξή τους.

Σημειώνουμε όμως ότι καταγράφονται και ακτινοβολίες από άστρα νεκρά, τα οποία έχουν σβήσει προ πολλού, αλλά το φως τους εξακολουθεί να ταξιδεύει στις τρομακτικές αποστάσεις του αχανούς διαστήματος. Αν κάποιο λαμπρό άστρο βρίσκεται για παράδειγμα στην απόσταση των 600 ε.φ., η τελευταία του ακτινοβολία —πριν σβήσει— θα φτάσει στη Γη ύστερα από 600 έτη. Έτσι, θα εξακολουθεί να φαίνεται λαμπρό —αν και θα είναι ήδη νεκρό— για 600 χρόνια.

Όταν δηλαδή φωτογραφίζουμε σήμερα τον γαλαξία της Ανδρομέδας —τον κοντινότερο σε μας σπειροειδή γαλαξία— που απέχει όμως 2.200.000 ε.φ. τον βλέπουμε όπως ήταν πριν από 2.200.000 έτη, αφού το φως του τόσα χρόνια χρειάστηκε για να διανύσει την τεράστια απόσταση που τον χωρίζει από τη Γη. Αν φωτογραφίσουμε κάποιο άλλο ουράνιο σώμα που απέχει 20.000.000 ε.φ., το φως του θα έχει ξεκινήσει, λοιπόν, εδώ και 20.000.000 έτη.

www.diavlosbooks.gr

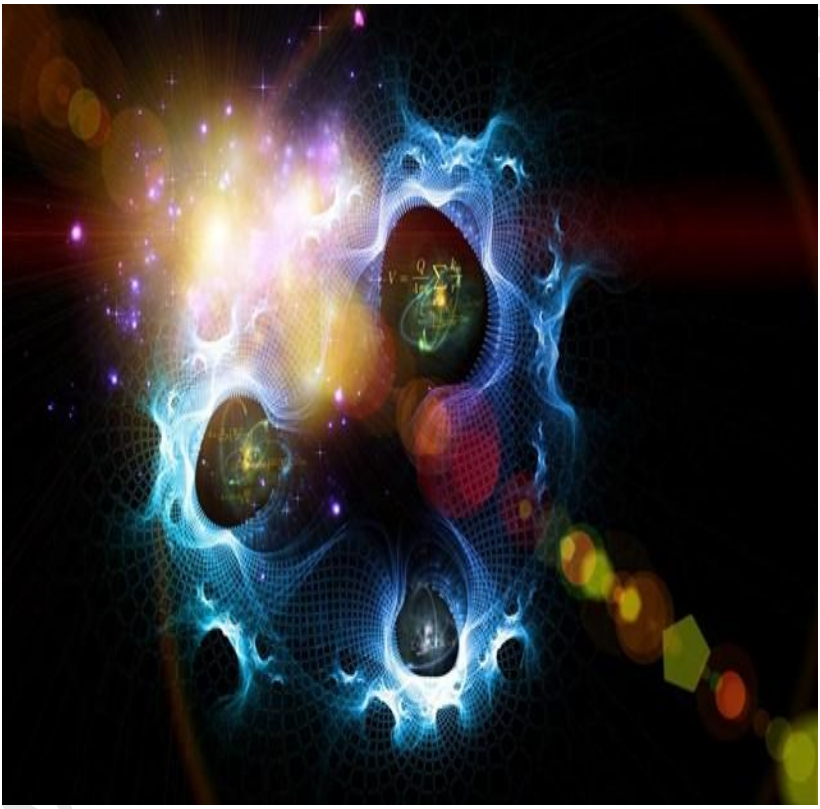


Alan Lightman

Έτσι είναι πολύ σωστή η παρομοίωση του αστροφυσικού Alan Lightman στο βιβλίο του «Η ώρα των άστρων» (1995), στο οποίο παρομοιάζει τα τηλεσκόπια με μηχανές του χρόνου και ταυτόχρονα σημειώνει ότι η παρατήρηση σε συνεχώς μεγαλύτερες αποστάσεις ισοδυναμεί με την παρατήρηση σε αντίστοιχες εποχές του παρελθόντος!

www.diavlosbooks.gr

Η κβαντική φύση του φωτός



Η Θεωρία των Κβάντα

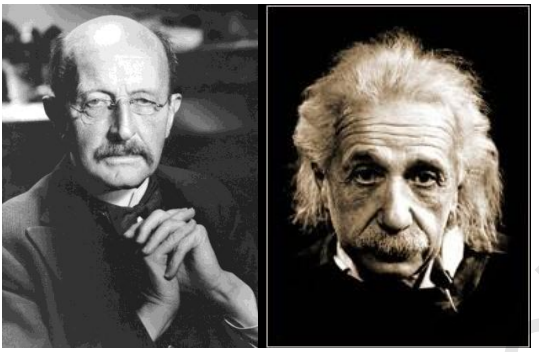
Η πραγματική επανάσταση, όμως, στη φυσική των αστεριών έγινε μέσω της Θεωρίας των Κβάντα* που διατυπώθηκε από τον Γερμανό θεωρητικό φυσικό *Max Planck* (1858-1947).

---

* Quantum (κβάντουμ) —quanta (κβάντα στον πληθυντικό)—σημαίνει στα λατινικά στοιχειώδη ποσότητα αδιαίρετη που υπάρχει στη φύση ή στην κοινωνία γενικότερα. Έτσι στη φύση η μικρότερη ποσότητα ηλεκτρισμού είναι το φορτίο του ηλεκτρονίου, που αποτελεί το κβάντουμ του ηλεκτρικού φορτίου. Παρόμοια φαινόμενα συμβαίνουν και στην κοινωνία μας. Όλοι σήμερα ξέρουμε ότι το μικρότερο νόμισμα που κυκλοφορεί στη χώρα μας είναι η δραχμή. Όλα τα άλλα νομίσματα είναι ακέραια πολλαπλάσιά της και συνεπώς η δραχμή είναι το κβάντουμ ή κβάντο του νομισματικού μας συστήματος και το νομισματικό μας σύστημα είναι κβαντισμένο.

Ο *Max Planck*, καθηγητής στο Πανεπιστήμιο του Βερολίνου, μελετώντας την ακτινοβολία του μέλανος σώματος (βλέπε σελίδα....) απέδειξε θεωρητικά (1900) ότι η ενέργεια (ακτινοβολία) εκπέμπεται ή απορροφάται από τα άτομα της ύλης ασυνεχώς και κατά στοιχειώδη ποσά, τα κβάντα ενέργειας ή φωτός, τα οποία ο *Αϊνστάιν* (1879-1955), όταν ερμήνευσε το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, τα ονόμασε φωτόνια. Ο Αϊνστάιν σε μία από τς τέσσερις κλασικές εργασίες του την οποία δημοσίευσε στο περιοδικό *Annalen der Physic* (1905), εξηγώντας το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, ανέπτυξε την ιδέα του *Max Planck* για τα κβάντα φωτός και έδειξε ότι το φως εκτός από κυματική έχει και σωματιδιακή υφή. Για την πρωτοποριακή αυτή εργασία του τιμήθηκε με το βραβείο Νόμπελ Φυσικής το 1921.

www.diavlosbooks.gr



Max Planck ( ) A.Einstein (1879-1955)

Ο *Max Planck* με τις απόψεις του επέφερε ριζική ανατροπή στις μέχρι τότε επικρατούσες αντιλήψεις, εισάγοντας την ιδέα της ασυνέχειας στη φύση.

Σύμφωνα με τον *Planck*, τα φωτεινά σώματα δεν ακτινοβολούν συνεχώς ενέργεια, αλλά συγκεντρώνουν την ενέργειά τους μέχρις ότου σχηματίσουν ένα κβάντο ενέργειας και κατόπιν το εκπέμπουν.

Ο σπουδαίος Γερμανός φυσικός βασιζόμενος στην ανακάλυψή του ότι η ενέργεια εκπέμπεται ή απορροφάται από την ύλη ασυνεχώς και κατά «κόκκους» ενέργειας, τα κβάντα, διατύπωσε την περίφημη εξίσωση:

$$E=h\cdot\nu \qquad (1)$$

όπου:

$h=6,624x10^{-27}$ ergsec, η σταθερά δράσεως του Planck.

ν=η συχνότητα της ακτινοβολίας.

Συνεπώς, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπουν τα ουράνια σώματα, όπως έδειξε ο Planck, είναι κβαντισμένη και αποτελείται από τα φωτόνια, κάθε ένα από τα οποία μεταφέρει συγκεκριμένο ποσό ενέργειας, που είναι ανάλογο της συχνότητας*.

www.diavgeiabooks.gr

---

* Η ορμή του φωτονίου J, δίνεται από τη σχέση J=hν/c.

Κάθε ακτινοβολία, λοιπόν, ορισμένης συχνότητας έχει το δικό της κβάντο ενέργειας, όπως κάθε κράτος έχει το δικό του κβάντο νομίσματος. Έτσι, για παράδειγμα, το κβάντο ενέργειας της ιώδους ακτινοβολίας περικλείει ποσόν ενέργειας διπλάσιο από το κβάντο ενέργειας της ερυθρής ακτινοβολίας.

Το φωτόνιο, το κβάντο δηλαδή του φωτός, είναι το μικρότερο σωματίδιο ακτινοβολίας —χωρίς μάζα— που κινείται με την ταχύτητα του φωτός.

Επειδή όμως η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι ενέργεια που διαδίδεται και με τη μορφή κυμάτων σταθερής ταχύτητας $c=2,9998x10^{10}$ cm sec^{-1}, ισχύει και η γνωστή σχέση, που συνδέει την ταχύτητα ενός κύματος με το μήκος κύματος λ και τη συχνότητα ν:

$$c=\lambda\cdot\nu \qquad (2)$$

Κάθε ακτινοβολία, λοιπόν, έχει το δικό της μήκος κύματος λ και χαρακτηρίζεται από τη σταθερή της συχνότητα ν, που αποτελεί την ταυτότητά της.

Εφ' όσον όμως

$$E=h\cdot\nu \text{ και } c=\lambda\cdot\nu, \text{ έχουμε: } E=h\, c/\lambda.$$

Η τελευταία σχέση μάς δείχνει ότι φωτόνια μικρότερου μήκους κύματος —εφ' όσον μικραίνει ο παρονομαστής— μεταφέρουν περισσότερη ενέργεια απ' ό,τι τα φωτόνια μεγαλυτέρου μήκους κύματος.

Η ακτινοβολία σε όλα τα μήκη κύματος, από τη ραδιοφωνική μέχρι τις ακτίνες γ, καλείται ***«Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα».***

Το φάσμα ονομάστηκε ηλεκτρομαγνητικό, επειδή σύμφωνα με τις αρχές του Ηλεκτρομαγνητισμού τα στάσιμα ηλεκτρικά φορτία προκαλούν ηλεκτρικά πεδία, ενώ, αντίστοιχα, τα κινούμενα φορτία δημιουργούν μαγνητικά πεδία.

www.diavlosbooks.gr

Η αλληλεπιδραση μεταξύ φωτός και ύλης επιταχύνει φορτισμένα σωμάτια, τα οποία με τη σειρά τους εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία..

*Πίεση ακτινοβολίας

Η φωτοηλεκτρική εξίσωση

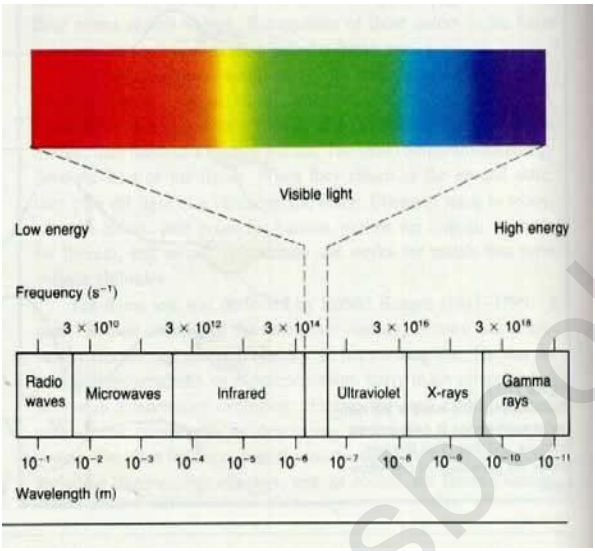
Η Θεωρία του Planck αντιμετωπίστηκε αρχικά με σκεπτικισμό από τους τότε επιστημονικούς κύκλους. Ο Αϊνστάιν, όμως, υποστήριξε τη Θεωρία των Κβάντα και μέσω αυτής, το 1905, εξήγησε πλήρως το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, διατυπώνοντας ταυτόχρονα τη φωτοηλεκτρική εξίσωση:

$$h\cdot\nu=E_{\varepsilon\xi}+mv^2/2$$

όπου:

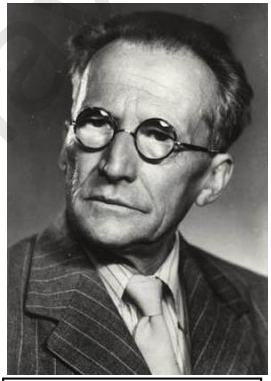
$h\cdot\nu$= το κβάντο ενέργειας.
$E_{\varepsilon\xi}$= το έργο εξαγωγής των ηλεκτρονίων.
m= μάζα ηλεκτρονίων.
ν= ταχύτητα ηλεκτρονίων.
Σύμφωνα με την εξίσωση αυτή, τα φωτόνια που θα προσπέσουν επάνω σε μια μεταλλική επιφάνεια, για να έχουν τη δυνατότητα να εξαγάγουν ηλεκτρόνια απ' αυτήν, θα πρέπει να φέρουν ενέργεια $h\cdot\nu$, όση ακριβώς απαιτείται προκειμένου να καλύψουν τόσο το ποσόν της ενέργειας που απαιτείται για την εξαγωγή των ηλεκτρονίων από το μέταλλο, όσο και το ποσόν ενέργειας που χρειάζονται για να αποκτήσουν τη διαπιστούμενη κινητική τους κατάσταση.

www.diavlosbooks.gr



Το Ηλεκτρομαγνητικό φάσμ

Η κβαντική συμπεριφορά της ύλης



Erwin Schrödinger

www.diavlosbooks.gr

Όταν οι φυσικοί προσπάθησαν να εφαρμόσουν τους νόμους της Μηχανικής και της Ηλεκτροδυναμικής σε μοντέλα του μικρόκοσμου, προέκυψαν ανυπέρβλητες δυσκολίες. Με την πάροδο του χρόνου έγινε κατανοητό ότι οι νόμοι της κλασικής Μηχανικής δεν είναι απόλυτοι, αλλά ισχύουν μόνο με κάποια προσέγγιση, ενώ παύουν να ισχύουν όταν προσπαθούμε να τους εφαρμόσουμε στα σωματίδια του μικρόκοσμου. Με τον τρόπο αυτό, οι νόμοι και γενικότερα η θεμελίωση της Φυσικής του μικρόκοσμου, γέννησε την Κβαντομηχανική.

Στην κλασική Μηχανική, όπως γνωρίζουμε, η ύλη συμπεριφέρεται σωματιδιακά και το φως κυματικά. Αντίθετα στην Κβαντομηχανική, ύλη και φως έχουν ιδιότητες τόσο κυματικές όσο και σωματιδιακές. Αυτός ο δυϊσμός αποτελεί ίσως τη βασικότερη έννοια που εισήγαγε η Κβαντομηχανική. Η βασική ιδέα διατυπώθηκε από τον θεμελιωτή της Κυματομηχανικής, Αυστριακό φυσικό Erwin Schrödinger (1887-1961), βραβείο Νόμπελ Φυσικής, 1933, που πρότεινε μια νέα αντιμετώπιση ενός κινούμενου σωματίου.

Ο σπουδαίος Αυστριακός φυσικός πρότεινε, αντί να αναζητούμε και να υπολογίζουμε την τροχιά ενός σωματίου, να εξετάζεται η διαδρομή ενός ισοδύναμου μ' αυτό υλικού κύματος, το οποίο και το συνοδεύει. Ο υπολογισμός των στοιχείων αυτού του υλικού κύματος, αποτελεί το αντικείμενο της Κυματομηχανικής, η οποία στηρίζεται στην κυματική εξίσωση του Schrödinger.

Η εξίσωση αυτή έχει την επόμενη αναλυτική έκφραση:

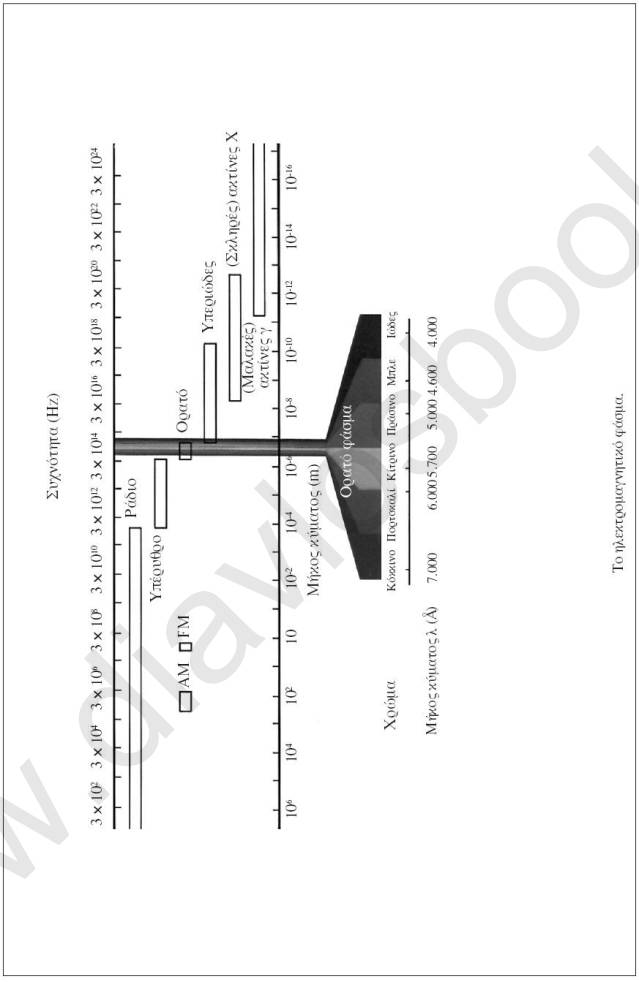
$$d^2\psi/dx^2 + d^2\psi/dy^2 + d^2\psi/dz^2 + (8\pi^2 \cdot m/h^2)\cdot(E-U)\cdot\psi=0$$

Όπου m η μάζα του σωματίου, E η ολική ενέργειά του, h η σταθερά του Planck και U η δυναμική ενέργειά του.

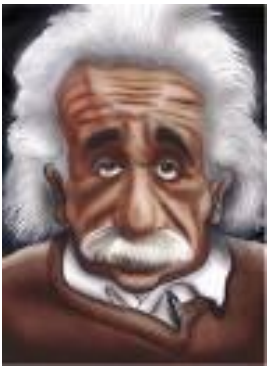
Το ψ είναι μια συνάρτηση των συντεταγμένων (x,y,z), έτσι ώστε το $/\psi/^2$ να περιγράφει τη συνάρτηση της κατανομής της

www.BigBooks.gr

πιθανότητας να εντοπίσουμε το σωμάτιο στη θέση που περιγράφεται από τις συντεταγμένες (x, y, z).



www.diavlosbooks.gr



Παρά την μεγάλη επιτυχία της κβαντικής θεωρίας όπως αποδείχθηκε, αυτή δεν μπορεί να ερμηνεύσει κάποια φαινόμενα επίδρασης του φωτός πάνω στην ύλη, όπως το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο* και το φαινόμενο Compton**.

Προκειμένου να ερμηνεύσει αυτά τα φαινόμενα ο Einstein, επεκτείνοντας μια σειρά προτάσεων του Planck, διατύπωσε την άποψη ότι η ενέργεια η οποία διαδίδεται μέσω μιας φωτεινής ακτίνας δεν κατανέμεται στο χώρο σε όλη την έκταση του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου. Σύμφωνα με την άποψη αυτή η ενέργεια είναι συγκεντρωμένη σε πακέτα ενέργειας που ονομάζονται φωτόνια ή κβάντα (quanta). Η θεώρηση αυτή γέννησε την κβαντική θεωρία του φωτός.

Η κβαντική θεωρία αρχικά φάνηκε ότι βρίσκεται σε αντίθεση με την κυματική θεωρία του φωτός σε τρόπο ώστε το φως να παρουσιάζει κατά περίπτωση έναν δυαδικό χαρακτήρα. Αυτό σημαίνει ότι άλλα φαινόμενα εξηγούνται με την κυματική και άλλα με την κβαντική θεωρία του φωτός. Η κυματική φύση του φωτός επικρατεί σε περιοχές μεγάλων μηκών κύματος, όπως τα ραδιοφωνικά, ενώ σε περιοχές μικρών μηκών κύματος, όπως οι ακτίνες Rontgen, επικρατεί ο κβαντικός χαρακτήρας.

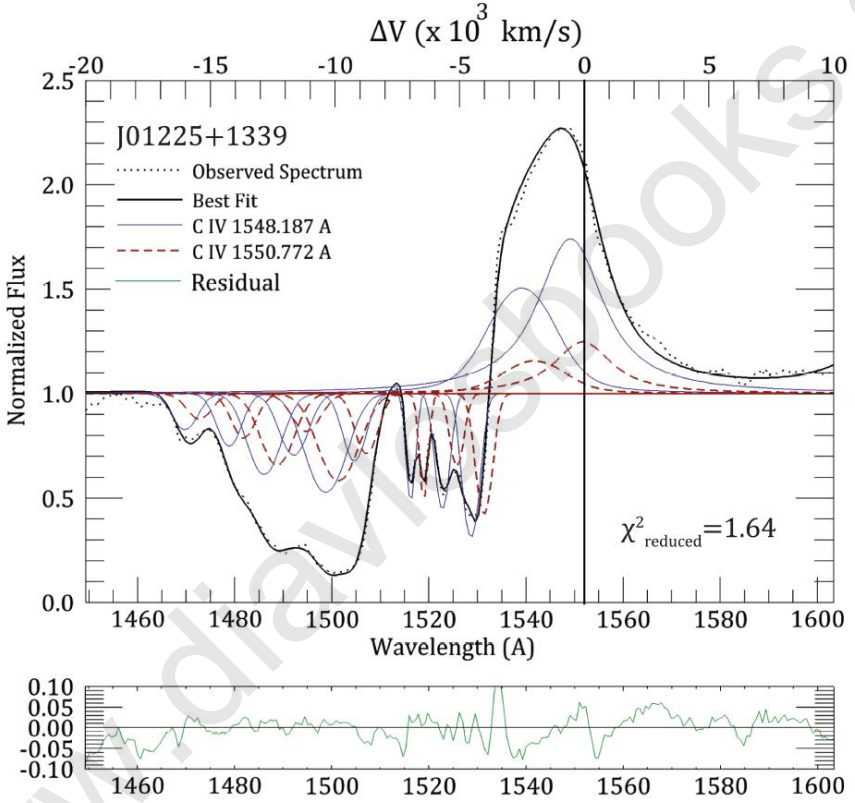
www.diavgeiabooks.gr

Στην περιοχή του ορατού φωτός, ανάλογα το πείραμα, το φως παρουσιάζει πότε την μια φύση του και πότε την άλλη.
Την φαινομενική αντίφαση της δυαδικότητας του φωτός γεφύρωσε η Κβαντομηχανική που μπόρεσε να εξηγήσει ενιαία όλα τα φαινόμενα.

* Ο Arthur Compton σε πειράματα που έκανε στο πανεπιστήμιο Washington του Saint Louis των ΗΠΑ παρατήρησε ότι το μήκος κύματος των ακτίνων χ αυξάνεται μετά τη σκέδασή τους από την ύλη. Η αύξηση αυτή, απολύτως κατανοητή και αναμενόμενη σήμερα, ήταν αδύνατο να ερμηνευθεί από την κυματική θεωρία του φωτός, και απετέλεσε ένα ακόμη ισχυρό επιχείρημα υπέρ του σωματιδιακού χαρακτήρα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας
** Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο είναι μια κβαντική διεργασία κατά την οποία απελευθερώνονται ηλεκτρόνια από μια επιφάνεια αγωγού όταν προσπέσει σε αυτή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία *συχνότητας* τέτοιας ώστε τα ηλεκτρόνια να κατορθώσουν να υπερπηδήσουν το φράγμα δυναμικής ενέργειας που τα "εγκλωβίζει" στην επιφάνεια αυτή. Τα ηλεκτρόνια που εκπέμπονται μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παραχθεί ηλεκτρικό ρεύμα

www.diavlos.gr

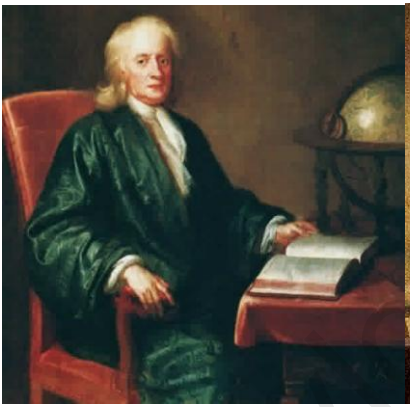
Η Φασματοσκοπία ως μέθοδος ανάλυσης και μελέτης του φωτός



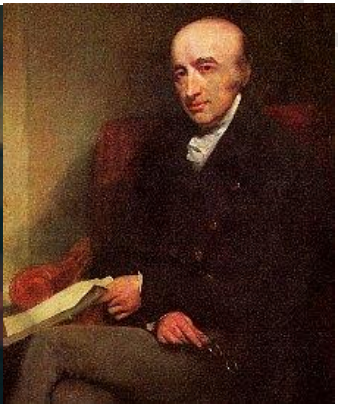
www.diavlosbooks.gr

Εισαγωγή

Το φως που έρχεται από τα άστρα είναι σύνθετο και καλύπτει ολόκληρο το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η ιδιότητα αυτή ανακαλύφτηκε από τον *Isaac Newton* το 1666, ο οποίος ανέλυσε το ηλιακό φως μέσω ενός πρίσματος.



Isaac Newton



W.H. Wollaston

Ενάμιση αιώνα αργότερα, οι *W.H. Wollaston και J. Fraunhofer* (1814) χρησιμοποιώντας μια σχισμή και έναν οπτικό φακό μελέτησαν το ηλιακό φάσμα στο οποίο παρατήρησαν σκοτεινές γραμμές απορρόφησης. Ειδικότερα, ο *Joseph von Fraunhofer* παρατήρησε πάνω από 600 τέτοιες γραμμές και το 1817 εξέδωσε έναν κατάλογο με τις ισχυρότερες απ' αυτές.

www.diavgeia.gr



Joseph von Fraunhofer

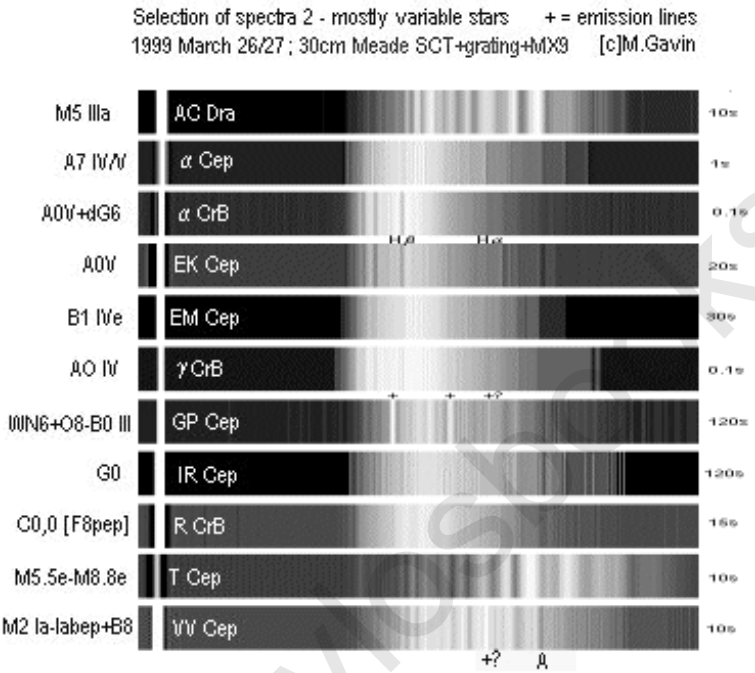
Η προέλευση των αστρικών φασμάτων

Οι επιφανειακές θερμοκρασίες των αστεριών είναι τόσο υψηλές, ώστε όλα τα χημικά στοιχεία που ενυπάρχουν σ' αυτά, βρίσκονται σε αέρια κατάσταση, ή για να ακριβολογούμε, σε ατομική και ιονισμένη κατάσταση.

Η ακτινοβολία που έρχεται σε μας από τα άστρα οφείλεται κυρίως στις πυρηνικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στο εσωτερικό τους. Όπως αντιλαμβανόμαστε η ακτινοβολία αυτή περνά από διαδοχικά αστρικά στρώματα και τέλος διασχίζει την ατμόσφαιρα του άστρου πριν βγει στον μεσοαστρικό χώρο. Έτσι, η ακτινοβολία που εκπέμπουν τα άστρα, απορροφάται εν μέρει από την αστρική ατμόσφαιρα και τελικά ό,τι καταγράφουν τα όργανά μας είναι το φως που εναπομένει, αυτό που ονομάζουμε αστρικό φάσμα (ροή ακτινοβολίας συναρτήσει του μήκους κύματος).

Από τις αστρονομικές παρατηρήσεις είναι γνωστό ότι τα αστέρια, σαν μέλανα σώματα κάποιας συγκεκριμένης θερμοκρασίας εκπέμπουν συνεχές φάσμα που διακόπτεται συνήθως από γραμμές απορρόφησης ή μερικές φορές από γραμμές εκπομπής.

www.stavrosbooks.gr



Φάσματα αστεριών διαφορετικών θερμοκρασιών

Το κυριότερο, λοιπόν, χαρακτηριστικό ενός άστρου είναι το φάσμα του, από το οποίο αντλούμε πλήθος πληροφοριών. Σημειώνουμε ότι το φάσμα αυτό προέρχεται από τη εξωτερική περιοχή της φωτόσφαιρα και την ατμόσφαιρα του άστρου, δηλαδή από τα εξωτερικά στρώματά του· και αυτό, διότι τα φωτόνια από τα εσωτερικά, βαθύτερα άρα και θερμότερα στρώματα δεν μπορούν να διαφύγουν εύκολα, λόγω της αδιαφάνειας της αστρικής ύλης και της απορρόφησής τους από τα υπερκείμενα στρώματα.

Η εσωτερική περιοχή της φωτόσφαιρας αποτελεί το μέλαν σώμα του αστεριού και δημιουργεί το συνεχές φάσμα εκπομπής του

www.diavgeia.gr

Από το φάσμα του αστεριού μπορούμε ν' αντλήσουμε πλήθος πληροφοριών για τη θερμοκρασία, τη χημική σύσταση της ατμόσφαιράς του, την πίεση κ.ά.
Συνεπώς η χημική σύσταση των άστρων μπορεί να βρεθεί από την ανάλυση των φασματικών γραμμών της ακτινοβολίας που προέρχεται από τη φωτόσφαιρά τους. Υποθέτουμε, βέβαια, ότι στη φωτόσφαιρα δεν έχουν φτάσει ακόμα πυρηνικά παράγωγα από το εσωτερικό των άστρων, οπότε η σύσταση της φωτόσφαιρας είναι ουσιαστικά πρωτογενής. Αυτό ισχύει γενικά για όλα τ' αστέρια, εκτός από τα περίεργης σύστασης σε μέταλλα άστρα φασματικών τύπων S.
Ο κλάδος της Φυσικής που ασχολείται με τη μελέτη των φασμάτων ονομάζεται φασματοσκοπία. Η μελέτη των φασμάτων των χημικών στοιχείων, που παράγονται στα γήινα εργαστήρια, η ερμηνεία του ηλιακού φάσματος, όπως και του φάσματος των άλλων ουρανίων σωμάτων, άρχισε ουσιαστικά, στα μέσα του 19ου αιώνα, μετά από τις πειραματικές έρευνες των Γερμανών φυσικών *R.W. Bunsen* (1811-1899) και *G.R. Kirchhoff* (1824-1887).



R.W. Bunsen (1811-1899) και G.R. Kirchhoff (1824-1887)

Στη συνέχεια ο G.R. Kirchhoff μέσω ενός πλήθους πειραματικών επαληθεύσεων δημιούργησε μία σειρά νόμων οι

www.ziziosbooks.gr

οποίοι καθόριζαν το πότε δημιουργείται το συνεχές φάσμα, καθώς και οι φασματικές γραμμές εκπομπής ή απορρόφησης.

Οι νόμοι του Kirchhoff

Εν συντομία οι νόμοι του Kirchhoff είναι οι επόμενοι:

1, Ένα ακτινοβόλο στερεό ή υγρό σώμα εκπέμπει σε όλα τα μήκη τα κύματος· εκπέμπει δηλαδή ένα συνεχές φάσμα, που λέγεται συνεχές φάσμα εκπομπής.

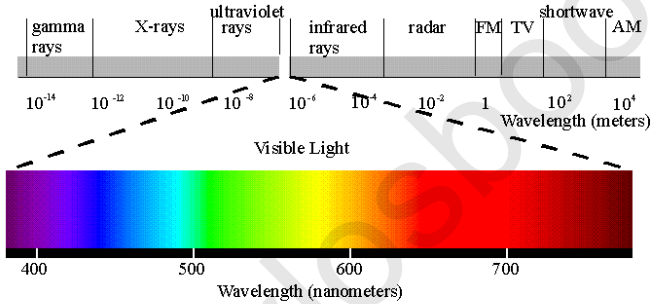
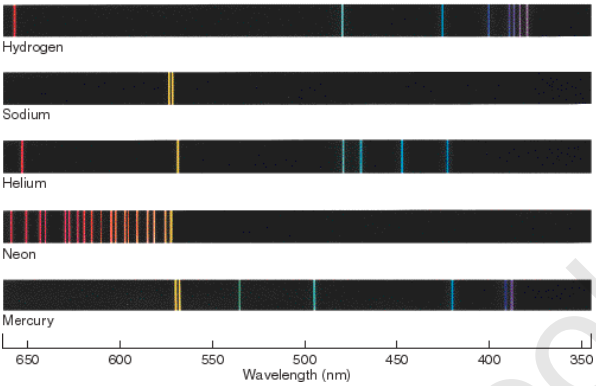


Table of Contents Visual Stimulus

Το συνεχές φάσμα εκπομής εκτείνεται και σε περιοχές αόρατες από το ανθρώπινο μάτι. Στην εικόνα η ορατή περιοχή του συνεχούς φάσματος παρουσιάζεται εγχρωμή.

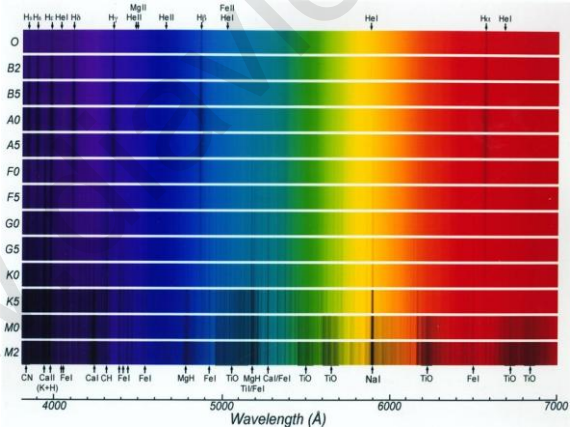
2. Ένα αραιό ακτινοβόλο αέριο εκπέμπει φως, με φάσμα που έχει φωτεινές γραμμές συνήθως επάνω σ' ένα αμυδρό συνεχές φάσμα. Το φάσμα αυτό ονομάζεται φάσμα εκπομπής.

www.diavlosbooks.gr



Φάσμα εκπομής αερίων Ηδρογόνου, Νατρίου, Ηλίου, Νέου και Υδραργύρου

3. Αν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία συνεχούς φάσματος περάσει μέσα από ένα αέριο, τότε το αέριο θα απορροφήσει τις ακτινοβολίες τις οποίες εκπέμπει και το συνεχές φάσμα θα παρουσιάσει μαύρες ζώνες. Το φάσμα αυτό λέγεται φάσμα απορρόφησης (νόμος.αναστροφής των φασματικών γραμμών)



Φάσματα απορρόφησης αστεριών διαφόρων θερμοκρασιών. Η ακτινοβολία των αστεριών περνάει μέσα από το ιονισμένο αέριο της ατμόσφαιρας του αστεριού η οποία απορροφά μέρος τους δημιουργόντας τις σκοτεινές περιοχές (φασματικές γραμμές απορρόφησης)

www.freebooks.gr

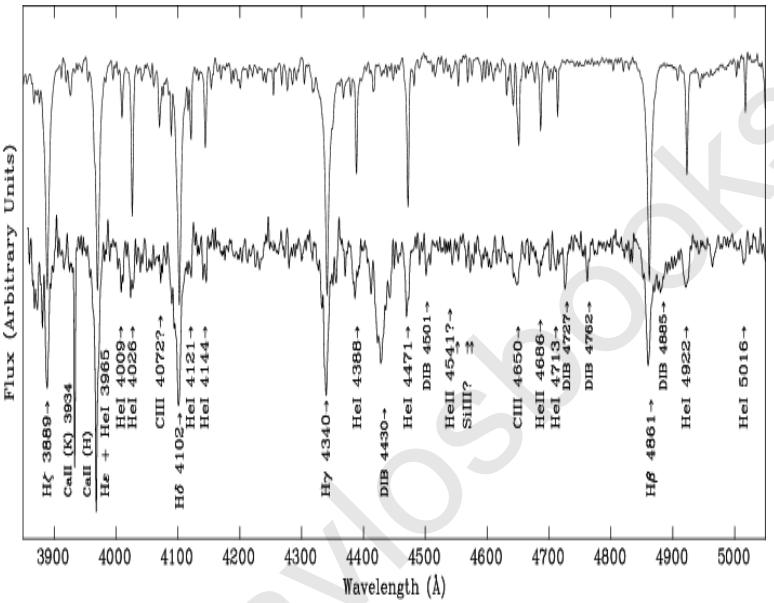
Από την κατανομή της ενέργειας του συνεχούς φάσματος των αστεριών σε διάφορα μήκη κύματος παίρνουμε πληροφορίες για το εσωτερικό τους, ενώ αν η κατανομή αυτή προσαρμοστεί σε μια αντίστοιχη κατανομή μέλανος σώματος (βλέπε σελίδα....), μπορούμε να προσδιορίσουμε την ενεργό θερμοκρασία T_{eff} του άστρου και την επιτάχυνση της βαρύτητάς του g.

Εκείνο, όμως, που κυρίως μάς ενδιαφέρει είναι τα γραμμικά φάσματα εκπομπής, ή απορρόφησης, των αστεριών, τα οποία οφείλονται στην εκπομπή ή την απορρόφηση ακτινοβολίας από τα στοιχεία ή ιόντα που βρίσκονται στην ατμόσφαιρά τους ή τις εξώτατες περιοχές της φωτόσφαιράς τους..

Για τη μελέτη του γραμμικού φάσματος είναι αναγκαίες όλες οι γνώσεις της Ατομικής, Μοριακής και Πυρηνικής Φυσικής που αφορούν τη συμπεριφορά των ατόμων και των μορίων στις διάφορες συνθήκες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κάθε αέριο, ή καλύτερα κάθε χημική ένωση και στοιχείο, όπως φαίνεται από τους νόμους του *Kirchhoff*, δίνουν με χαρακτηριστικό και μοναδικό τρόπο γραμμές εκπομπής και απορρόφησης. Ο σχηματισμός των γραμμών αυτών οφείλεται σε μεταπηδήσεις ηλεκτρονίων από μια ενεργειακή στάθμη σε άλλη. Τα ηλεκτρόνια αυτά μπορεί να ανήκουν σε μόρια, άτομα ή ιόντα και επομένως είναι φανερό ότι τα αστρικά φάσματα παρουσιάζουν μια τεράστια ποικιλία. Η ανάλυση αυτών των φασμάτων και η φυσική τους ερμηνεία μάς οδηγεί στη μελέτη των φυσικών ιδιοτήτων και της χημικής σύστασης των αστρικών ατμοσφαιρών. Η αναγνώριση των φασματικών γραμμών γίνεται με τη βοήθεια του φάσματος σύγκρισης, δηλαδή του πρότυπου φάσματος το οποίο μάς δείχνει πού ακριβώς αναμένονται οι διάφορες φασματικές γραμμές. Το φάσμα σύγκρισης είναι γνωστό από πολύπλοκες μελέτες

www.ebooks.gr

θερμοκρασίας, πίεσης ηλεκτρονίων, βαθμού ιονισμού, παρουσίας μαγνητικών πεδίων κ.ά.



Το φάσμα ενός αστεριού (επάνω) και το φάσμα σύγκρισης (κάτω)

Έτσι, από το γραμμικό φάσμα μπορούμε να αντλήσουμε πλήθος πληροφοριών, όπως, για παράδειγμα, ν' ανιχνεύσουμε τα στοιχεία που υπάρχουν σε μια αστρική ατμόσφαιρα. Επίσης από τη μετατόπιση των φασματικών γραμμών ως προς το εργαστηριακά αναμενόμενο μήκος κύματος, μπορούμε να υπολογίσουμε την ακτινική ταχύτητα της περιοχής του αστεριού, μέσα στην οποία δημιουργείται η φασματική γραμμή, σε σχέση με τον παρατηρητή. Ακόμη, από τη μετατόπιση του ιώδους άκρου μιας φασματικής γραμμής, το εύρος και την έντασή της μπορούμε να υπολογίσουμε τις κινήσεις που

www.diavlos.books.gr

συντελούνται μέσα στην αστρική ατμόσφαιρα, την ταχύτητα περιστροφής του αστεριού, ή της περιοχής που δημιουργεί την φασματική γραμμή και το ποσοστό της σχετικής αφθονίας που αρχικά θεωρούσαμε ότι δημιουργεί την ένταση μιας φασματικής γραμμής (φαινόμενο D-F, βλέπε σελίδες....).
Ομοίως, μέσω του γραμμικού φάσματος επιτυγχάνουμε την κατάταξη των άστρων σε φασματικούς τύπους και υποτύπους σύμφωνα με τα συστήματα φασματικής ταξινόμησης

Φασματοσκοπική ανάλυση

Μπορούμε να αναλύσουμε το φως σε φασματικές συνιστώσες με τη βοήθεια πρισμάτων ή φραγμάτων. Τα πρίσματα έχουν τη δυνατότητα να διαθλούν το φως, ενώ τα φράγματα να το σκεδάζουν.
Επειδή, όσο μεγαλώνει το μήκος κύματος της ακτινοβολίας, ο σκεδασμός του φωτός μεγαλώνει και η διάθλαση μικραίνει, χρησιμοποιούμε για τη φασματική ανάλυση πρίσματα ή φράγματα, ανάλογα με το μήκος κύματος που έχουν οι συνιστώσες του φωτός που θέλουμε ν' αναλύσουμε.
Για περιοχές ακτινοβολιών μικρότερες των 1.250 Α χρησιμοποιούμε φράγμα, ενώ για μεγαλύτερα μήκη κύματος μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε:

α. Πρίσμα αν θέλουμε φασματικές γραμμές μεγάλης έντασης, και

β. Φράγμα αν ο στόχος μας είναι ένας πολύ καλός διαχωρισμός των φασματικών γραμμών.

Ως προς το υλικό που κατασκευάζονται τα πρίσματα, χρησιμοποιείται γυαλί αν θέλουμε να πάρουμε φάσματα ακτινοβολιών μεταξύ 3μm και 3.600 Α και κρυστάλλους χαλαζία για περιοχές μικρότερων μηκών κύματος, εφ' όσον αυτές απορροφώνται εξ' ολοκλήρου από το γυαλί.
Η ανάλυση του φωτός στο μακρινό υπεριώδες επιτυγχάνεται μέσω θερμοστηλών και βολτομέτρων.

www.ebooks.gr

Αστρονομικος Φασματογράφος

Ο αστρονομικός φασματογράφος είναι ένα όργανο που χρησιμοποιείται για την ανάλυση του φωτός ενός αστεριού ή άλλου ουράνιου σώματος, γενικότερα μιας δέσμης ακτινοβολίας, σ' ένα φάσμα και καταγράφει την ένταση του φωτός στο φάσμα αυτό συναρτήσει του μήκους κύματος. Ο κυριότερος αστρονομικός φασματογράφος με σχισμή.

Στους φασματογράφους με σχισμή, στην εστία του αντικειμενικού φακού τοποθετείται μια λεπτή σχισμή πάνω στην οποία σχηματίζεται το είδωλο του αστεριού.

Στη συνέχεια, η φωτεινή δέσμη αφού γίνει παράλληλη με τη βοήθεια ενός φακού, του κατευθυντήρα πέφτει πάνω σ' ένα οπτικό πρίσμα ή φράγμα, αναλύεται και μετά μέσω του φακού μιας φωτογραφικής μηχανής εστιάζεται πάνω στη φωτογραφική πλάκα δίνοντας το φάσμα του αστεριού. Με κατάλληλη διάταξη φωτογραφίζουμε πάνω στην ίδια φωτογραφική πλάκα, ένα φάσμα σύγκρισης, το φάσμα δηλαδή μιας γνωστής πηγής ακτινοβολίας, μιας λυχνίας ηλεκτρικής εκκένωσης ή ηλεκτρικού τόξου, που μας επιτρέπει να χαράξουμε την καμπύλη βαθμονόμησης του οργάνου σε κάθε περίπτωση.

Η φωτογραφική πλάκα τοποθετείται λοξά ως προς τον άξονα του φακού της φωτογραφικής μηχανής γιατί η εστιακή απόστασή του είναι μικρότερη για τις μπλε ακτίνες και μεγαλύτερη για τις κόκκινες.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη ενός αστρονομικού φασματογράφου είναι η διακριτική και η διασκεδαστική ικανότητά του.

Η *«διακριτική ικανότητα»* εκφράζει την ικανότητα του φασματογράφου να διακρίνει δύο φασματικές γραμμές που βρίσκονται η μια κοντά στην άλλη. Αν η μια φασματική γραμμή έχει μήκος κύματος λ και η άλλη λ+Δλ, τότε θα διαφέρουν μεταξύ τους κατά Δλ και το πηλίκο Δλ/λ ονομάζεται διακριτική ικανότητα του φασματογράφου.

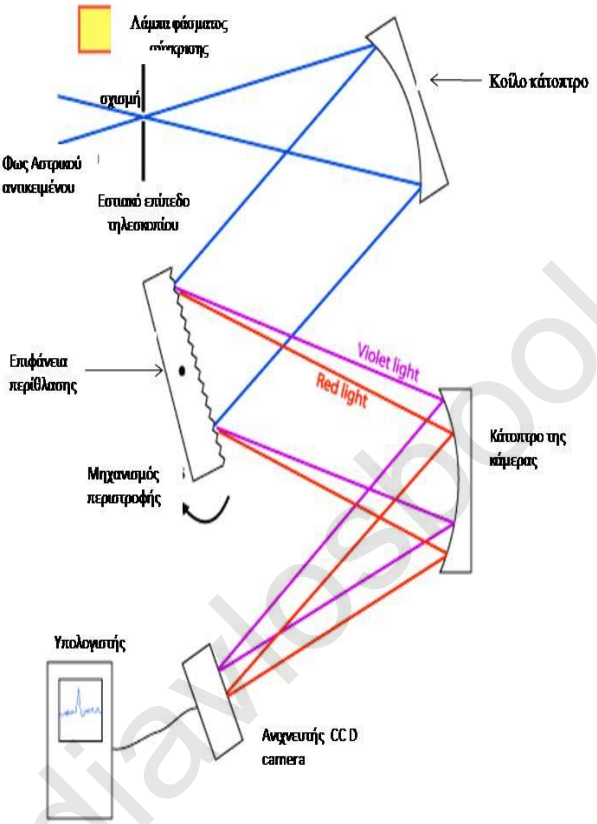
www.diavgeiabooks.gr

Αν έχουμε πάλι τις δύο ακτινοβολίες με μήκη κύματος που διαφέρουν μεταξύ τους κατά Δλ τότε πάνω στη φωτογραφική πλάκα ή στο χαρτί του καταγραφικού οργάνου θα σχηματιστούν δύο φασματικές γραμμές που θα απέχουν μεταξύ τους κατά Δs.
«Διασκεδαστική ικανότητα» του φασματογράφου ονομάζουμε το πηλίκο Δλ/Δs που εκφράζεται σε Α/mm.

Λειτουργία Αστρονομικού φασματογράφου

Ο αστρονομικός φασματογράφος είναι ένα όργανο που χρησιμοποιείται για την ανάλυση του φωτός ενός ουράνιου σώματος ή γενικότερα μιας δέσμης ακτινοβολιών, σ' ένα φάσμα, καταγράφοντας την ένταση κάθε μιας από τις ακτινοβολίες αυτές συναρτήσει του μήκους κύματος.
Ο κυριότερος από τους αστρονομικούς φασματογράφους είναι ο φασματογράφος με σχισμή.
Στους φασματογράφους με σχισμή, στην εστία του αντικειμενικού φακού τοποθετείται μια λεπτή σχισμή μέσα από την οποία περνά το φως που συλλέγει το τηλεσκόπιο.
Στη συνέχεια, η φωτεινή δέσμη αφού γίνει παράλληλη ως προς τον οπτικό άξονα του τηλεσκοπίου με τη βοήθεια ενός κατόπτρου, του κατευθυντήρα, πέφτει πάνω σ' ένα οπτικό πρίσμα ή φράγμα που ονομάζεται φράγμα περιθλάσεως, αναλύεται και στη συνέχεια μέσω του φακού μιας φωτογραφικής μηχανής εστιάζεται πάνω σε μια φωτογαφική πλάκα ή κάποιο άλλο σύστημα καταγραφής, δίνοντάς μας το φάσμα του αστεριού.
Η φωτογραφική πλάκα τοποθετείται λοξά ως προς τον άξονα του φακού της φωτογραφικής μηχανής διότι η εστιακή απόστασή του είναι μικρότερη για τις μπλε ακτίνες και μεγαλύτερη για τις κόκκινες.

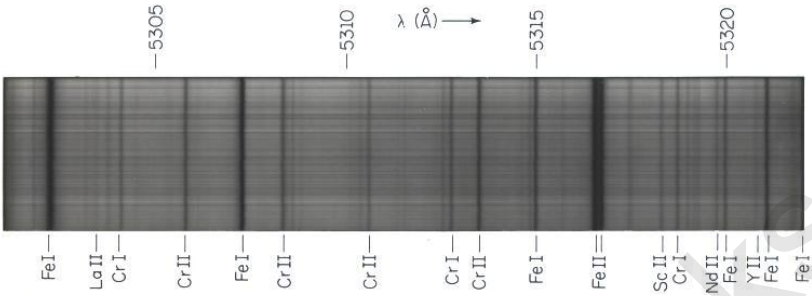
www.stavlosbooks.gr

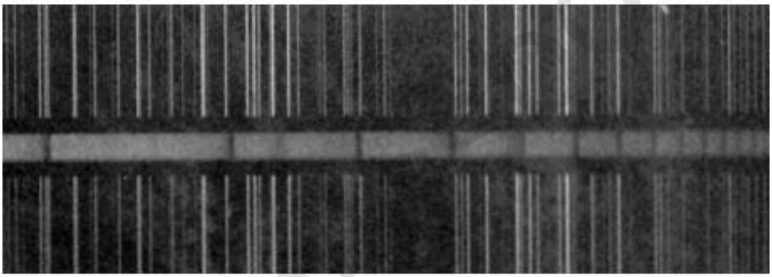


Σχηματική παράσταση φασματογράφου σχισμής

Πάνω στη φωτογραφική πλάκα το φάσμα αποτυπώνεται υπό τη μορφή μιας ταινίας με περιοχές διαφορετικού βαθμού αμαύρωσης. Με τη μέθοδο αυτή παίρνουμε μόνο διαφορές φωτεινών εντάσεων και όχι απόλυτες τιμές, ενώ το πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι μπορούμε να αποτυπώνουμε φάσματα πολλών αστεριών συγχρόνως πάνω στην ίδια φωτογραφική πλάκα.

www.diavlos-books.gr





μήκος κύματος λ (Å)

Το φάσμα σύγκρισης διακρίνεται πάνω και κάτω από το φάσμα απορρόφησης του αστέρα, που βρίσκεται στο κέντρο.

Χρησιμοποιώντας μια κατάλληλη διάταξη, πάνω στην ίδια φωτογραφική πλάκα φωτογραφίζουμε ένα φάσμα σύγκρισης, το φάσμα δηλαδή μιας γνωστής πηγής ακτινοβολίας, μιας λυχνίας ηλεκτρικής εκκένωσης ή ηλεκτρικού τόξου, που μας επιτρέπει να χαράξουμε την καμπύλη βαθμονόμησης του οργάνου σε κάθε περίπτωση.Αυτό σημαίνει ότι γνωρίζοντας τα μήκη κύματος των διαφόρων φασματικών γραμμών του φάσματος

www.diavaloooks.gr

σύγκρισης έχουμε τη δυνατότητα να υπολογίζουμε τα μήκη κύματος των φασματικών γραμμών τού υπό μελέτη φάσματος.
Τα κύρια χαρακτηριστικά μεγέθη ενός αστρονομικού φασματογράφου, όπως ήδη αναφέραμε, είναι η *διακριτική* και η *διασκεδαστική* ικανότητά του.
Ως διακριτική ικανότητα ορίζεται η ελάχιστη διαφορά μήκους κύματος (Δλ) που μπορούν να έχουν δύο μονοχρωματικές ακτινοβολίες ίδιας έντασης, ώστε να καταγραφούν ευδιάκριτα πάνω στο μέσον καταγραφής. Πρακτικά είναι η ελάχιστη διαφορά μήκους κύματος (Δλ) προκειμένου ο φασματογράφος να μπορεί να διακρίνει δύο φασματικές γραμμές που βρίσκονται η μία κοντά στην άλλη. Αν η μία φασματική γραμμή έχει μήκος κύματος λ και η άλλη λ+Δλ, τότε θα διαφέρουν μεταξύ τους κατά Δλ και το πηλίκον Δλ/λ ονομάζεται διακριτική ικανότητα του φασματογράφου.
Αν έχουμε πάλι τις δύο αυτές ακτινοβολίες με μήκη κύματος που διαφέρουν μεταξύ τους κατά Δλ, τότε πάνω στη φωτογραφική πλάκα ή στο χαρτί του καταγραφικού οργάνου θα σχηματιστούν δύο φασματικές γραμμές που θα απέχουν μεταξύ τους κατα Δs.
Διασκεδαστική ικανότητα του φασματογράφου ονομάζουμε το πηλίκον Δλ/Δs που εκφράζεται σε A/mm.
Μέσω της διασκεδαστικής ικανότητας μπορούμε να γνωρίζουμε το εύρος της φασματικής περιοχής που έχει τη δυνατότητα να καταγράφει ο φασματογράφος στη μονάδα μήκους της φωτογραφικής πλάκας.
Στην περίπτωση που η μέθοδος συλλογής των ακτινοβολιών δεν είναι φωτογραφική, αλλά φωτοηλεκτρική, αντί της φωτογραφικής πλάκας τοποθετείται ένα φωτοηλεκτρικό κύτταρο, το οποίο μετακινείται έτσι ώστε σε κάθε θέση να δέχεται το φως μιας πολύ στενής φασματικής περιοχής. Η τιμή του φωτορεύματος για κάθε θέση του κυττάρου καταγράφεται

απ' ευθείας σε κάποιο καταγραφικό μέσο, ως συνάρτηση του μήκους κύματος λ. Η μέθοδος αυτή καταγράφει απόλυτες τιμές της έντασης της ακτινοβολίας.



The Large Cassegrain Spectrograph mounted on the Smith Telescope McDonald Observatory

www.ziti-books.gr

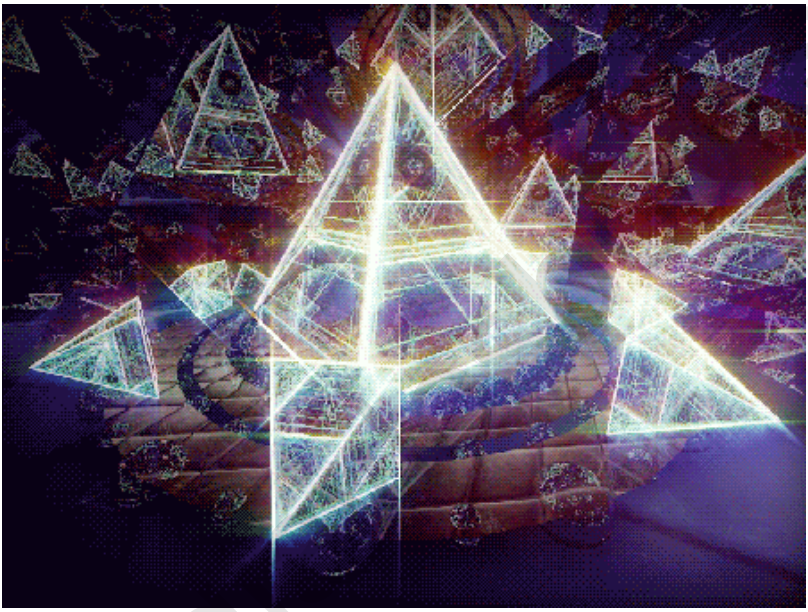
Παραρτήματα



www.diafanbooks.gr

Παράρτημα Ι

Στοιχειώδεις γνώσεις Γεωμετρικής Οπτικής

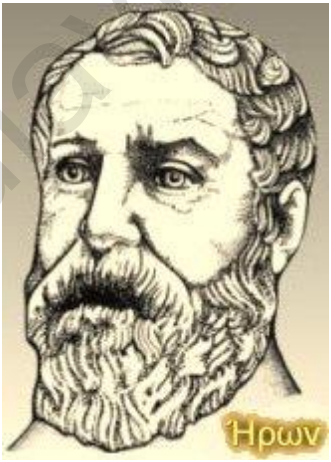


Βασική πηγή αυτού του παραρτήματος είναι το Πανεπιστημιακό βιβλίο του Κ. Δ. Αλεξόπουλου: «Οπτική», Έκδοση Πρώτη, Αθήνα 1966

Στο πλαίσιο της Γεωμετρικής Οπτικής, όπως ήδη αναφέραμε, δεν ενδιαφερόμαστε για την πραγματική φύση του φωτός αλλά δεχόμαστε ότι το φως διαδίδεται μέσω φωτεινών ακτίνων. Με βάση αυτή την παραδοχή μια φωτεινή δέσμη αποτελείται από φωτεινές ακτίνες που διαδίδονται ευθυγραμμα.
Η πιο διαδεδομένη θεώρηση μιας δέσμης φωτός είναι εκείνη που δέχεται ότι οι φωτεινές ακτίνες που την αποτελούν είναι παράλληλες μεταξύ τους και εκκινούν από μια φωτεινή πηγή τόσο μικρών φαινόμενων διαστάσεων, που μπορούμε να την θεωρήσουμε ως σημειακή.
Τέτοιες σημειακές πηγές μπορούν να θεωρηθούν τα αστέρια.

Η αρχή του Ήρωνα

Ο Ήρων ο Αλεξανδρεύς υπήρξε ένας από τους διασημότερους μαθηματικούς του $1^{ου}$ π.Χ αιώνα και διετύπωσε την εξής παρατήρηση: *«Μια φωτεινή ακτίνα για να πάει από ένα σημείο Α σε ένα σημείο Β του χώρου θα ακολουθήσει τον συντομότερο δρόμο»*.



www.diavlosbooks.gr

Στην απλή περίπτωση που δεν υπάρχει κανένα εμπόδιο η φωτεινή ακτίνα θα επιλέξει την ευθύγραμμη διάδοσής προκειμένου να φθάσει στο σημείο Β. Αν όμως δεν μπορεί, λόγω κάποιου εμποδίου να ακολουθήσει την εύγραμμη διάδοση που είναι και η συντομότερη, μπορεί να φθάσει στο σημείο Β μέσω ενός φαινομένου που ονομάζεται «ανάκλαση του φωτός».

Η αρχή του Fermat



Pierre de Fermat
(1601-1665)

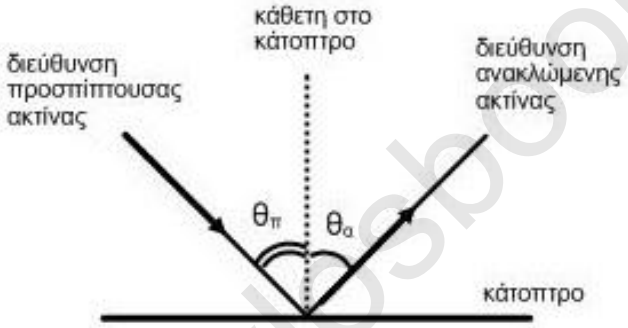
Η αρχή του Fermat είναι γνωστή και ως αρχή του ελάχιστου δρόμου και διατυπώνεται ως εξής: «το φως προκειμένου να μεταβεί από ένα σημείο προς ένα άλλο, θα ακολουθήσει το δρόμο εκείνο για τον οποίο για τον οποίο ο χρόνος διαδρομής είναι ο ελάχιστος δυνατός». Για το νόμο του Fermat υπάρχει και μια δεύτερη διατύπωση στην οποία χρησιμοποιείται η έννοια του οπτικού δρόμου. Η διατύπωση αυτή είναι η εξής: «η διαδρομή που θα ακολουθήσει μια φωτεινή ακτίνα κατά την μετάβασή της από ένα σημείο σε ένα άλλο, είναι αυτή η οποία καθιστά τον οπτικό δρόμο ελάχιστο σε σχέση με αυτούς γειτονικών ισοδύναμων διαδρομών».

www.diavlospooks.gr

Ανάκλαση του φωτός

Αν έχουμε έναν επίπεδο καθρέφτη και πάνω του πέσει μια φωτεινή ακτίνα αλλάζει διεύθυνση «ανάκλαση».

Η γωνία που σχηματίζει η προσπίπτουσα ακτίνα με την κάθετο πάνω στον καθρέφτη στο σημείο πρόσπτωσης θ_π ονομάζεται «γωνία πρόσπτωσης», ενώ η γωνία θ_α που σχηματίζεται από την ίδια κάθετο με την ανακλώμενη ακτίνα, «γωνία ανάκλασης».

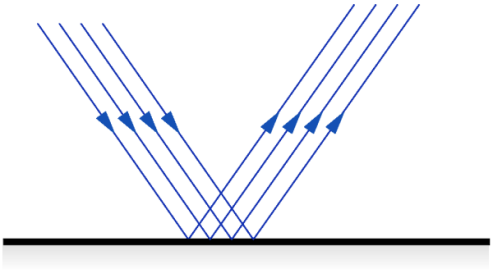


Το φαινόμενο της ανάκλασης υπακούει στους επόμενους δύο νόμους:

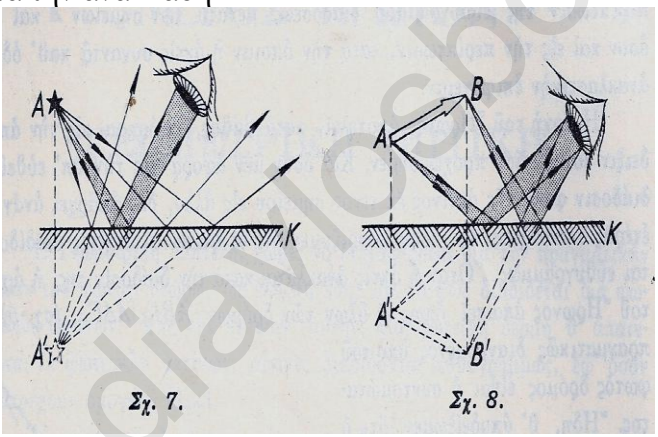
1. Το επίπεδο που ορίζουν η προσπίπτουσα και η ανακλώμενη ακτίνα είναι κάθετο στην επιφάνεια ανάκλασης (καθρέφτης).
2. Η γωνία ανάκλασης είναι ίση με τη γωνία πρόσπτωσης.

Με βάση της ιδιότητες ανάκλασης μιας φωτεινής ακτίνας, αν πέσει πάνω σε ένα κάτοπτρο μια φωτεινή δέσμη παράλληλων ακτίνων η ανακλωμένη δέσμη θα είναι και αυτή μια δέσμη παράλληλων ακτίνων.

www.diavlosbooks.gr



Στην περίπτωση όμως που πάνω σε ένα κάτοπτρο πέσει μια αποκλίνουσα δέσμη φωτεινών ακτίνων οι οποίες εκκινούν από ένα φωτεινό σημείο Α, θα συνεχίσει να είναι και αποκλίνουσα και μετά την ανάκλαση



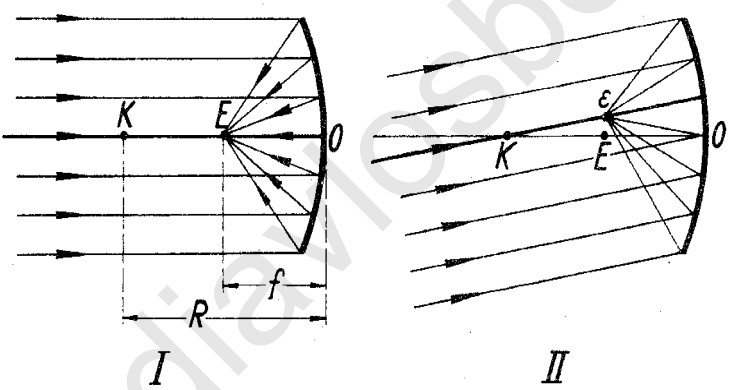
Αν προεκτείνουμε τις ανακλώμενες ακτίνες τις δέσμης προς τα πίσω αυτές θα τμηθούν σε ένα σημείο Α΄ το οποίο είναι συμμετρικό του σημείου Α ως προς το επίπεδο του κατόπτρου.
Όταν το μάτι μας δέχεται τις ανακλώμενες φωτεινές ακτίνες έχει την ψευδαίσθηση ότι το φως έρχεται από το σημείο Α΄. Το σημείο αυτό ονομάζεται φανταστικό είδωλο του σημείου Α (σχ7).
Το ίδιο ακριβώς θα συμβεί αν αντί του φωτεινού σημείου έχουμε ένα φωτεινό ευθύγραμμο τμήμα ΑΒ (σχ β). Το μάτι μας

www.diavlosbooks.gr

δεχόμενο τις ανακλώμενες ακτίνες θα έχει την ψευδαίσθηση ότι το φωτεινό αντικείμενο δεν είναι το ευθύγραμμο τμήμα ΑΒ αλλά ένα φανταστικό ευθύγραμμο τμήμα Α΄Β΄ συμμετρικό του ΑΒ ως προς επίπεδο συμμετρίας το επίπεδο του κατόπτρου (σχ8).

Ανάκλαση επί κοίλου σφαιρικού κατόπτρου

Όπως είδαμε μια φωτεινή ακτίνα μπορεί να ανακλαστεί πάνω σε ένα επίπεδο κάτοπτρο. Εκτός όμως αυτής της περιπτώσεως όμως το φως μπορεί να ανακλαστεί και επάνω σε μια σφαιρική κοίλη επιφάνεια.



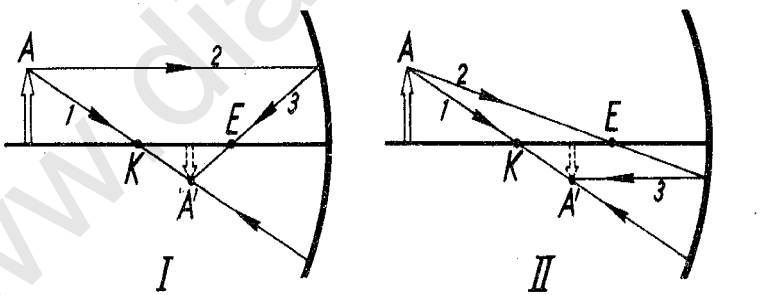
Ας δώσουμε στην περίπτωση αυτή μερικούς ορισμούς.

Αν κόψουμε ένα κομμάτι του σφαιρικού κατόπτρου κάνοντας μια τομή του, το σημείο Ο του κέντρου της αποκοπτόμενης επιφάνειας ονομάζεται «κορυφή» του κοίλου σφαιρικού κατόπτρου. Την ακτίνα του σφαιρικού κατόπτρου R την ονομάζουμε «ακτίνα καμπυλότητας».

Την ευθεία ΚΟ που ενώνει την κορυφή του κοίλου κατόπτρου με το κέντρο της εν γένει κατοπτρικής σφαιρικής επιφάνειας την ονομάζουμε «κύριο άξονα». Κάθε άλλη ευθεία που περνάει από

www.diavlosbooks.gr

το κέντρο του σφαιρικού κατόπτρου ΟΚ την ονομάζουμε «δευτερεύοντα άξονα».
Αν μια δέσμη φωτεινών ακτίνων παράλληλων προς τον κύριο άξονα του κοίλου κατόπτρου (Σχήμα Ι) πέσει πάνω στο κοίλο κάτοπτρο, οι ανακλώμενες ακτίνες θα συναντηθούν και θα τμηθούν σε ένα συγκεκριμένο σημείο του κύριου άξονα που ονομάζεται «κυρία εστία» Ε του κοίλου κατόπτρου. Η απόσταση μεταξύ κυρίας εστίας Ε και της κορυφής Ο του κοίλου κατόπτρου ονομάζεται «εστιακή απόσταση» f του κατόπτρου.
Η εστιακή απόσταση και η ακτίνα καμπυλότητας του κοίλου κατόπτρου συνδέονται με τη σχέση f=R/2.
Αν η προσπίπτουσα στο κοίλο κάτοπτρο φωτεινη δέσμη δεν είναι παράλληλη προς τον κύριο άξονα, (σχήμα ΙΙ) αλλά προς έναν άλλο δευτερεύοντα άξονα, οι ανακλώμενες φωτεινές ακτίνες συγκίνουν σε ένα άλλο. εκτός του κυρίου άξονα σημείου που ονομάζεται «δευτερεύουσα εστία».
Το σύνολο των δευτερευουσών εστιών βρίσκεται πάνω σε ένα επίπεδο κάθετο στον κύριο άξονα και ονομάζεται «εστιακό επίπεδο».



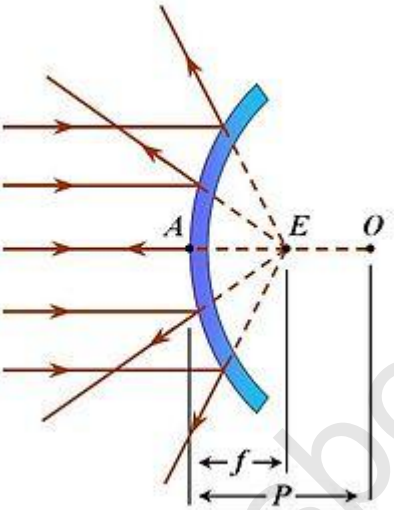
Αν θεωρήσουμε μια αποκλίνουσα δέσμη φωτός η οποία προέρχεται από ένα αντικείμενο του οποίου η απόσταση από

την κορυφή του κατόπτρου είναι μεγαλύτερη της εστιακής απόστασης. Όπως παρατηρούμε η ανακλώμενη δέσμη συγκλίνει συγκλίνει σε ένα σημείο Α', του οπτικού άξονα το οποίο σχηματίζεται μπροστά από το κάτοπτρο και ονομάζεται «πραγματικό είδωλο» του φωτεινού σημείου Α.
Όταν το φωτεινό σημείο Α βρίσκεται μεταξύ κυρίας εστίας και κορυφής του κατόπτρου τότε η ανακλώμενη δέσμη θα είναι αποκλίνουσα και το είδωλο του Α το Α' θα είναι «φανταστικό», δηλαδή θα σχηματιστεί στην πίσω μεριά του κατόπτρου.
Όπως μπορούμε να αποδείξουμε 1/α+1/β=2/R (σχ…..) όπου α,β είναι οι αποστάσεις αντικειμένου και ειδώλου αντίστοιχα από το κέντρο του κατόπτρου Ο. Η σχέση αυτή είναι γνωστή ως ο «τύπος των κατόπτρων».
«Μεγέθυνση» ενός κατόπτρου ονομάζουμε το πηλίκο του ύψους του ειδώλου προς το ύψος του αντικειμένου. Όταν η μεγέθυνση είναι μικρότερη της μονάδας τότε έχουμε «σμίκρυνση».

Ανάκλαση σε κυρτό σφαιρικό κάτοπτρο

Ανάλογα φαινόμενα με όσα είδαμε για τα κοίλα κάτοπτρα ισχύουν και στα κυρτά. Όταν έχουμε πρόσπτωση δέσμης παραλλήλων φωτεινών ακτίνων, τότε σχηματίζεται φανταστική κυρία εστία Ε. Στην περίπτωση μιας αποκλίνουσας δέσμης δημιουργείται φανταστικό είδωλο. Λαμβάνοντας τα α, β, και f αρνητικά ισχύει και για τα κυρτά κάτοπτρα ο τύπος των κατόπτρων.

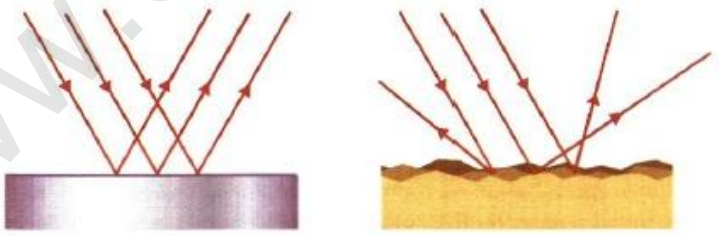
www.diavlosbooks.gr



Διάχυση του φωτός

Αν η ανακλώσα επιφάνεια δεν είναι λεία αλλά ανώμαλη, οι ανακλώμενες φωτεινές ακτίνες μιας δέσμης φωτός έχουν τυχαίες διευθύνσεις σε σχέση με την διεύθυνση των προσπιπτουσών ακτίνων.

Το φαινόμενο αυτό το ονομάζουμε «διάχυση του φωτός» και είναι το αίτιο που κάνει ορατά από όλες τι διευθύνσεις τα ετερόφωτα σώματα που βρίσκονται γύρω μας.



www.ariviosbooks.gr

Όταν μια δέσμη παράλληλων ακτίνων πέσει πάνω σε μια λεία και στιλπνή επιφάνεια (κάτοπτρο) τότε η οι ακτίνες της ανακλωμένης δέσμης θα είναι και αυτές παράλληλες μεταξύ τους (σχ (α)). Αντίθετα αν η επιφάνει είναι ανόμαλη οι ανακλώμενες ακτίνες θα έχουν τυχαίες διευθύνσεις (σχ (β)). Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται διάχυση του φωτός.

Διάθλαση του φωτός

Αν μια φωτεινή δέσμη πέσει πάνω σε μια επιφάνεια που χωρίζει δύο υλικά μέσα στα οποία το φως διαδίδεται με διαφορετική ταχύτητα, τότε ένα μέρος της ανακλάται και το υπόλοιπο εισέρχεται μέσα στο δεύτερο υλικό αλλάζοντας διεύθυνση.

Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται «διάθλαση του φωτός».

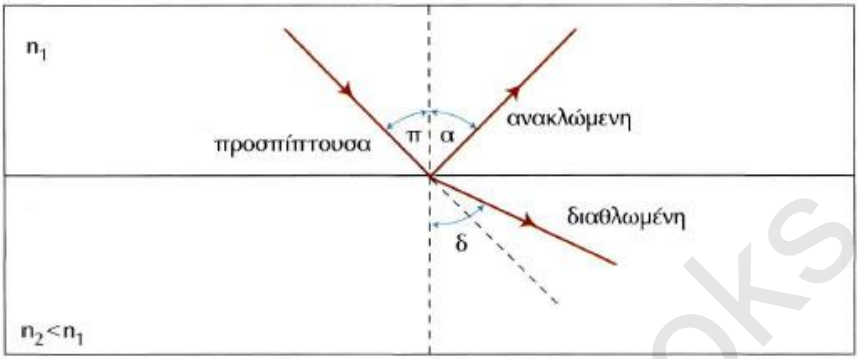
Όπως είναι φανερό αν μια δέσμη φωτός πέσει πάνω στην διαχωριστική επιφάνεια δύο διαφορετικών μέσων, εν μέρει ανακλάται και εν μέρει διαθλάται.

Η γωνία π που σχηματίζει η προσπίπτουσα ακτίνα με την κάθετο πάνω στην επιφάνεια που χωρίζει τα δύο υλικά στο σημείο πρόσπτωσης ονομάζεται «γωνία πρόσπτωσης», ενώ η γωνία δ που σχηματίζεται από την ίδια κάθετο με την διαθλώμενη ακτίνα, «γωνία διάθλασης».

Αν το φως κινείται από ένα οπτικά αραιότερο (αέρας) προς ένα οπτικά πυκνότερο υλικό (νερό) τότε η γωνία πρόσπτωσης α είναι μεγαλύτερη από την γωνία διάθλασης β.

(n_1 και n_2 είναι οι δείκτες διάθλασης των δύο υλικών)

www.physbooks.gr



Το φαινόμενο της διάθλασης υπακούει στους επόμενους δύο νόμους:

Το επίπεδο που ορίζεται από την προσπίπτουσα και την διαθλωμένη ακτίνα ονομάζεται επίπεδο διάθλασης και είναι κάθετο στην επιφάνεια που χωρίζει τα δύο υλικά.

1. Ο λόγος των ημιτόνων των γωνιών πρόσπτωσης και διάθλασης είναι σταθερός και ισούται με τον λόγο c_1/c_2 των ταχυτήτων του φωτός μέσα στα δύο μέσα

Δηλαδή ημα/ημβ = c_1/c_2= $n_{σχετικό}$

Ο σταθερός αυτός λόγος $n_{σχετικό}$ ονομάζεται «σχετικός δείκτης διάθλασης» του δευτέρου υλικού σε σχέση με το πρώτο.

Αν το πρώτο υλικό είναι το κενό τότε ο δείκτης διάθλασης $n_{απόλυτο}$ ονομάζεται «απόλυτος δείκτης διάθλασης» ή απλά «δείκτης διάθλασης» και ισχύει:

$$n_{απόλυτο}=c_{κενο}/c_2.$$

Ο απόλυτος δείκτης διαθλάσεως ενός υλικού εξαρτάται από το χρώμα του προσπίπτοντος φωτός (μήκος κύματος) και της θερμοκρασία του μέσου.

Τέλος θέλουμε να σημειώσουμε ότι στην περίπτωση της διάθλασης ισχύει ένας αντίστοιχος κανόνας με τον κανόνα του Ήρωνα για την ανάκλαση, η αρχή του Ferma που σημειώνει ότι:

www.diavgeiabooks.gr

«Μια φωτεινή ακτίνα προκειμένου να πάει κινηθεί μεταξύ δύο σημείων που βρίσκονται μέσα σε δύο διαφορετικά οπτικά μέσα ακολουθεί τον χρονικά συντομώτερο δρόμο».



Λόγω του φαινομένου της διάθλασης τα μολύβι φαίνεται σαν σπασμένο

Ορική γωνία

Ας μελετήσουμε την περίπτωση που το φως κινείται από ένα οπτικά αραιότερο (αέρας) προς ένα οπτικά πυκνότερο υλικό (νερό). Όπως αναφέραμε στην περίπτωση αυτή η γωνία πρόσπτωσης α θα είναι πάντα μεγαλύτερη από την γωνία διάθλασης β. Ως εκ τούτου, όσο μεγαλώσει η γωνία πρόσπτωσης α, θα αυξάνεται αντίστοιχα και η γωνία διάθλασης β έτσι ώστε να ισχύει ημα/ημβ=n.

Επειδή η μεγαλύτερη τιμή που μπορεί να πάρει η γωνία πρόσπτωσης είναι 90 μοίρες και

$$\text{ημ}90=1 \text{ οπότε } \text{ημ}90/\text{ημ}\beta_{\text{ορικό}}=n \text{ και } \text{ημ}\beta_{\text{ορικό}}=1/n$$

Όπως είναι φανερό η γωνία $\beta_{\text{ορικό}}$ είναι η μέγιστη γωνία διάθλασης όταν φως διαδίδεται από ένα αραιό (αέρας) προς ένα

www.diavlosbooks.gr

πυκνό οπτικά μέσον (νερό). Η γωνία αυτή ονομάζεται «ορική γωνία».

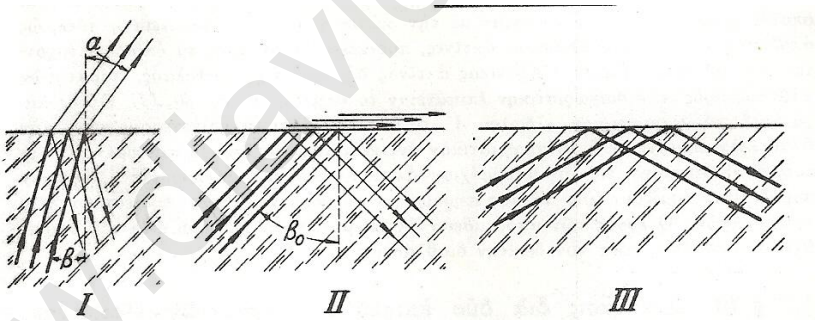
Ο Νόμος Snell

Όπως μπορούμε να αποδείξουμε χρησιμοποιούντες την αρχή του Fermat, το πηλίκο των ημιτόνων των γωνιών πρόσπτωσης και διάθλασης είναι σταθερό για τα δύο μέσα.

Ολική ανάκλαση

Ας δούμε τώρα την περίπτωση που το φως κινείται από ένα οπτικά πυκνότερο υλικό (νερό) προς ένα οπτικά αραιότερο (αέρας).

Λόγω της νόμου της αντίστροφης κίνησης του φωτός, στην περίπτωση αυτή η γωνία πρόσπτωσης είναι τώρα η β ενώ αντίστοιχα η γωνία διάθλασης είναι η α και η γωνία β είναι πάντα μικρότερη της γωνίας α.



Στην εικόνα παρουσιάζεται μια παράλληλη δέσμη φωτεινών ακτίνων να διαδίδεται από ένα οπτικά πυκνότερο σε ένα οπτικά αραιότερο μέσον β. Στην εικόνα Ι εμφανίζονται οι ακτίνες πρόσπτωσης διάθλασης και ανάκλασης. Αν η γωνία πρόσπτωσης μεγαλώνει συνεχώς ομοίως θα μεγαλώνουν οι γωνίες ανάκλασης και διάθλασης τως μερών της φωτεινής ακτίνας που ανακλώνται και διαθλώνται αντίστοιχα.

www.tavlosbooks.gr

Κάποια στιγμή η γωνία πρόσπτωσης έχει λάβει την ορική τιμή της και ανακλάται ολόκληρη. Από εκει και πέρα όσο και αν μεγαλώσει η γωνία πρόσπτωσης δεν έχουμε διαθλώμενο μέρος της προσπίπτουσας ακτίνας.

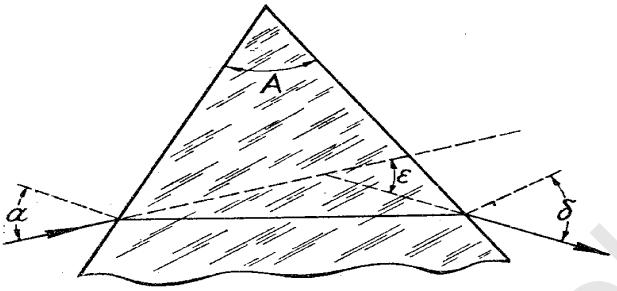
Αυτό σημαίνει ότι αν η γωνία πρόσπτωσης β πάρει την προηγούμενη ορική τιμή $\beta_{ορικό}$ η γωνία διάθλασης α θα είναι 90 μοιρών, δηλαδή θα εξέρχεται του πυκνότερου μέσου προς το αραιότερο εφαπτομενικά προς την επιφάνεια που χωρίζει τα δύο υλικά.
Αν η γωνία πρόσπτωσης β ξεπεράσει την τιμή $\beta_{ορικό}$ τότε η γωνία διάθλασης α θα γίνει μεγαλύτερη από 90 μοίρες δηλαδή δεν θα μπορέσει να βγει από το υλικό, δηλαδή θα ανακλαστεί ολικά ακολουθώντας όλους τους νόμους της ανάκλασης.
Από το νόμο της διάθλασής έχουμε ότι $ημ90/ημβ_{ορικό}=n$ άρα έχουμε ότι:

$$ημβ_{ορικό}=1/n$$

Διάδοση του φωτός μέσα από πρίσμα

Στην Οπτική ονομάζουμε «πρίσμα» ένα διαφανές σώμα (πχ το γυαλί) το οποίο περιορίζεται μεταξύ δύο επιπέδων και μη παραλλήλων εδρών. Ονομάζουμε «κυρία τομή» του πρίσματος κάθε τομή του πρίσματος που γίνεται από ένα επίπεδο κάθετο πάνω στην ακμή που σχηματίζουν οι δύο προηγούμενες έδρες.
Η δίεδρη γωνία Α που σχηματίζουν οι δύο αυτές έδρες ονομάζεται «θλαστική γωνία» του πρίσματος.
Στην κυρία τομή του πρίσματος του σχήματος παρουσιάζεται μια φωτεινή ακτίνα να υφίσταται δύο διαθλάσεις στις πλευρές του πρισματος. Οι δύο αυτές πλευρές σχηματίζουν την θλαστική γωνία Α, ενώ οι προεκτάσεις της προσπίπτουσας στην πρώτη πλευρά ακτίνας και της εξερχομένης από την δεύτερη πλευρά σχηματίζουν την γωνία εκτροπής ε.

www.physbooks.gr



Εξετάζοντας την διάδοση του φωτός διαμέσου ενός πρίσματος κάνουμε τις επόμενες δύο παραδοχές:

1. Οι προσπίπτουσες φωτεινές ακτίνες βρίσκονται πάνω στην κυρία τομή του πρίσματος και
2. Το φως που περνάει μέσα από το πρίσμα είναι μονοχρωματικό, δηλαδή είναι ενός συγκεκριμένου μήκους κύματος.

Γιατί κάνουμε όμως αυτή την παραδοχή?

Όπως γνωρίζουμε η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι 300.000Km/sec ανεξαρτήτως του μήκους κύματος της ακτινοβολίας (χρώματος). Αντίθετα η ταχύτητα διάδοσης ακτινοβολιών διαφορετικών μηκών κύματος μέσα στο υλικό του πρίσματος (γυαλί) είναι διαφορετική. Αυτό σημαίνει ότι ο δείκτης διάθλασης του γυαλιού, ως πηλίκο της ταχύτητας του φωτός στο κενό δια της ταχύτητας του φωτός μέσα στο γυαλί, είναι διαφορετικός για ακτινοβολίες διαφορετικών μηκών κύματος (χρώματος).

Δεχόμενοι λοιπόν ότι οι προσπίπτουσες στο πρίσμα ακτινοβολίες είναι μονοχρωματικές εξασφαλίζουμε ότι ο δείκτης διάθλασης για όλες παραμένει σταθερός.

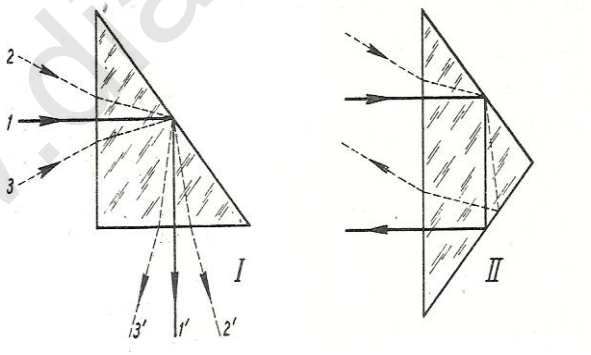
Η μονοχρωματική λοιπόν ακτίνα φωτός προσπίπτει στην μια έδρα του πρίσματος, διαθλάται και μπαίνει μέσα του και

www.freebooks.gr

κατόπιν από την εσωτερική πλευρά του πρίσματος διαθλάται εκ νέου στην δεύτερη έδρα του και εξέρχεται του πρίσματος.
Όπως ήδη αναφέραμε η γωνία την οποία σχηματίζουν η προέκταση της προσπίπτουσας στο πρίσμα ακτίνας και αυτής που μετά από τις δύο διαδοχικές διαθλάσεις βγαίνει από το πρίσμα, ονομάζεται «γωνία εκτροπής» της φωτεινής ακτίνας.
Όπως γνωρίζουμε η γωνία εκτροπής εξαρτάται από την γωνία πρόσπτωσης και από τον δείκτη διάθλασης n_i του υλικού του πρίσματος για την προσπίπτουσα ακτινοβολία του συγκεκριμένου μήκους κύματος.

Πρίσμα ολικής ανάκλασης ή αναστροφής

Τα πρίσματα ολικής ανάκλασης ή αναστροφής χρησιμοποιείται για την εκτροπή της φωτεινής ακτίνας κατά 180 μοίρες. Η φωτεινή ακτίνα αφού πέσει κάθετα στην υποτείνουσα εισέρχεται στο εσωτερικό του πρίσματος και στη συνέχεια υφίσταται δύο διαδοχικές ολικές ανακλάσεις στις δύο κάθετες πλευρές του. Με τον τρόπο αυτό η τελική ακτίνα βγαίνει από το πρίσμα αντιπαράλληλα προς την αρχική της διεύθυνση.

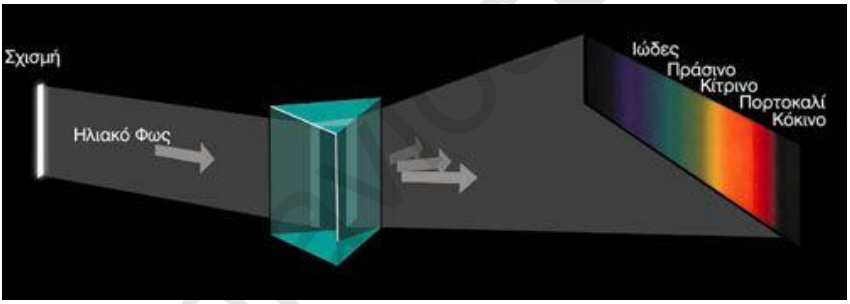


www.diavlosbooks.gr

Ανάλυση του λευκού φωτός

Το λευκό φως δεν αποτελεί παρά την σύνθεση ακτινοβολιών όλων των μηκών κύματος, δηλαδή από φωτεινές ακτίνες όλων των χρωμάτων.

Αν λοιπόν κάτω από τις συνθήκες που αναφέραμε στα προηγούμενα, λευκό φως πέσει πάνω στην μία έδρα ενός πρίσματος, επειδή το γυαλί παρουσιάζει διαφορετικό δείκτη διάθλασης για κάθε μία από τις διαφορετικές ακτινοβολίες που συνιστούν το λευκό φως, θα παρουσιάζουν και μια διαφορετική γωνία εκτροπής. Αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος είναι, αν έχουμε μια οθόνη πάνω στην οποία πέφτουν οι εξερχόμενες από το πρίσμα ακτίνες διαφορετικών μηκών κύματος (χρώματος), να καταγράφονται σε διαφορετικές θέσεις πάνω του.



Όπως φαίνεται και στο σχήμα, επειδή κάθε ακτίνα του λευκού φωτός, διαφορετικού μήκους κύματος (χρώματος) παρουσιάζει διαφορετικό δείκτη διάθλασης ως προς το υλικό του πρίσματος, παρουσιάζει διαφορετική γωνία εκτροπή. Αποτέλεσμα αυτού του φαινομένου είναι η δημιουργία του φάσματος του λευκού φωτός.

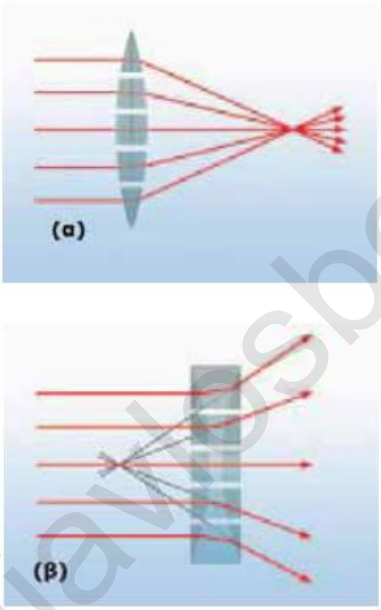
Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ανάλυση του λευκού φωτός και η έγχρωμη ταινία που σχηματίζεται φάσμα του λευκού φωτός.

www.physicsbooks.gr

Φακοί

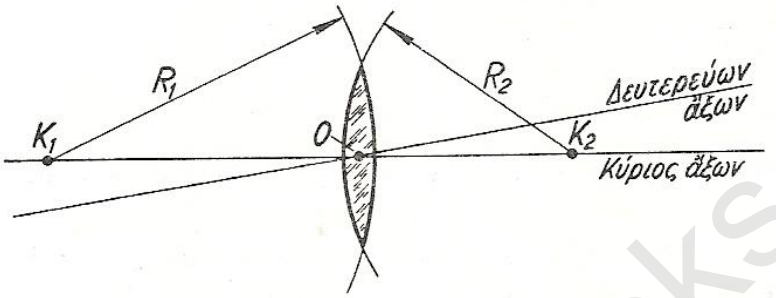
Φακό ονομάζουμε ένα διαθλαστικό υλικό το οποίο περιορίζεται μεταξύ δύο κυρτών ή κοίλων επιφανειών.

Τους φακούς τους χωρίζουμε σε δύο μεγάλες κατηγορίες τους «συγκλίνοντες» (σχ α) και τους «αποκλίνοντες» (σχ β).



Οι συγκλίνοντες φακοί συγκεντρώνουν το φως μιας παραλλήλως προσπίπτουσας δέσμης φωτεινών ακτίνων σε μια περιοχή ενώ οι αποκλίνοντες μετά την διάθλαση το διασκορπίζουν.

www.diavlosbooks.gr



Ας θεωρήσουμε έναν συγκλίνοντα φακό που οι κυρτές επιφάνειες που τον ορίζουν είναι κομμάτια κάποιων περιφερειών ακτίνων καμπυλότητας R_1 και R_2 με κέντρα καμπυλότητας K_1 και K_2 αντίστοιχα. Ονομάζουμε κύριο άξονα του φακού την ευθεία K_1K_2 που ενώνει τα δύο κέντρα καμπυλότητας. Ονομάζουμε οπτικό κέντρο την τομή του κύριου άξονα και της ευθείας που ενώνει τα δύο άκρα του φακού.

Κάθε άλλη ευθεία που περνάει από το οπτικό κέντρο ονομάζεται «δευτερεύων άξονας» του φακού.

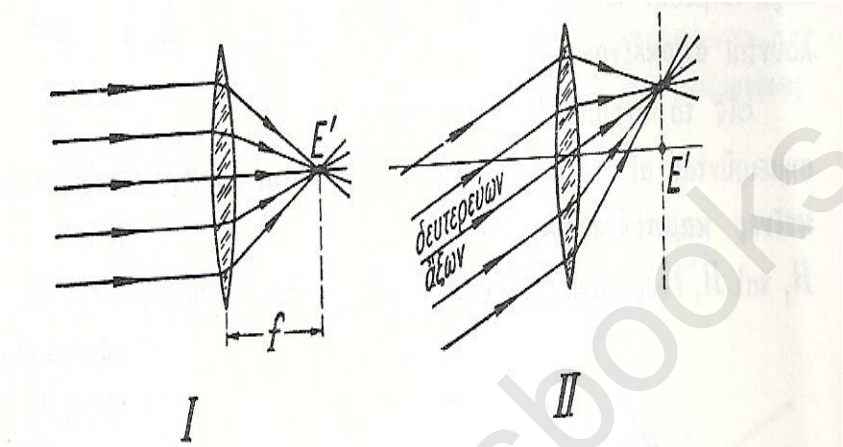
Οι φακοί διακρίνονται σε «λεπτούς» και «παχείς» ανάλογα αν έχουν μικρό ή μεγάλο πάχος σε σχέση με ακτίνες καμπυλότητας τους.

Συνήθως προκειμένου να αποφύγουμε διάφορα σφάλματα περιοριζόμαστε στην μελέτη και χρήση λεπτών φακών όταν πάνω τους προσπίπτουν φωτεινές ακτίνες που δημιουργούν πολύ μικρές γωνίες με τον κύριο άξονα και απέχουν πολύ λίγο από το οπτικό κέντρο.

Σε όλες τις περιπτώσεις φακών κάθε οπτική ακτίνα που ταυτίζεται με τον κύριο άξονα του φακού εξέρχεται χωρία να υποστεί διάθλαση πάνω στον κύριο άξονα.

www.diavgeiobooks.gr

Συγκλίνοντες φακοί



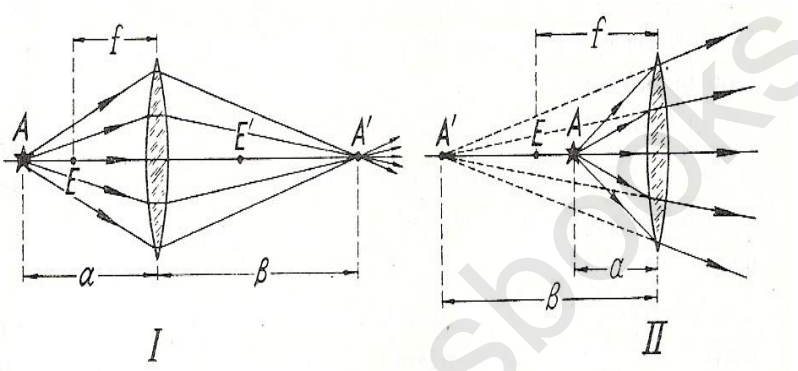
Αν έχουμε ένα συγκλίνοντα φακό και πάνω του πέσει μια δέσμη παράλληλων προς τον κύριο άξονα ακτίνων, τότε μετά την διάθλασή τους οι φωτεινές ακτίνες θα συγκλίνουν σε ένα σημείο Ε᾽ το οποίο ονομάζεται «κυρία εστία». Η απόσταση f της κυρίας εστίας Ε᾽ από το οπτικό κέντρο, ονομάζεται εστιακή απόσταση.
Κάθε επίπεδο κάθετο στον οπτικό άξονα στο σημείο Ε᾽ ονομάζεται «εστιακό επίπεδο».
Κάθε φωτεινή δέσμη ακτίνων παραλλήλων προς ένα δευτερεύοντα άξονα, όταν προσπέσει πάνω σε ένα συγκλίνοντα φακό, μετά την διάθλασή της θα συγκεντρωθεί στο σημείο του εστιακού επιπέδου στο οποίο ο δευτερεύων άξονας το τέμνει.
Όπως μπορούμε να αποδείξουμε η εστιακή απόσταση f υπολογίζεται από τη σχέση:

$$1/f = (n-1).(1/R_1+1/R_2)$$

Όπου n είναι ο δείκτης διάθλασης του υλικού του φακού.
Ο προηγούμενη σχέση ονομάζεται «τύπος των κατασκευαστών των φακών».

www.kallipos.books.gr

Έστω τώρα ότι πάνω στον συγκλίνοντα φακό πέφτει μια αποκλίνουσα δέσμη φωτεινών ακτίνων που προέρχεται από ένα φωτεινό σημείο Α που βρίσκεται πάνω στον κύριο άξονας και πέρα από την κυρία εστία Ε.



Τότε η δέσμη αυτή μετά την διάθλασή της θα συγκεντρωθεί σε ένα σημείο Α' του κύριου άξονα που ονομάζεται είδωλο του σημείου Α.

Ας ονομάσουμε α και β τις αποστάσεις του αντικειμένου και του ειδώλου αντίστοιχα από το οπτικό κέντρο.

Αν η απόσταση α είναι μεγαλύτερη της f, η διαθλομένη δέσμη είναι συγκλίνουσα και το σχηματιζόμενο είδωλο είναι πραγματικό. Αν η α γίνει μικρότερη της f η διαθλομένη δέσμη είναι αποκλίνουσα και το είδωλο, ως προέκταση των αποκλινόντων ακτίνων θα είναι φαντστικό.

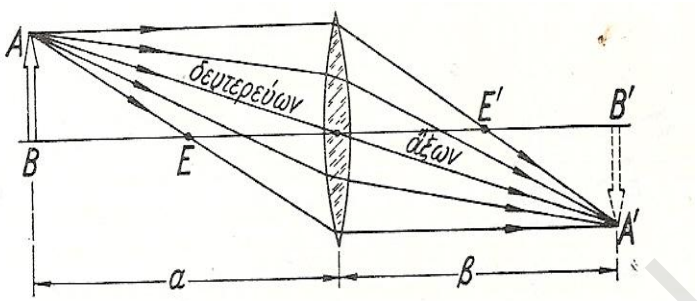
Όπως αποδεικνύεται, μεταξύ των αποστάσεων α και β του αντικειμένου και του ειδώλου αντίστοιχα από το οπτικό κέντρο του φακού και της εστιακής απόστασης f, ισχύει η σχέση.

$$1/\alpha + 1/\beta = 1/f$$

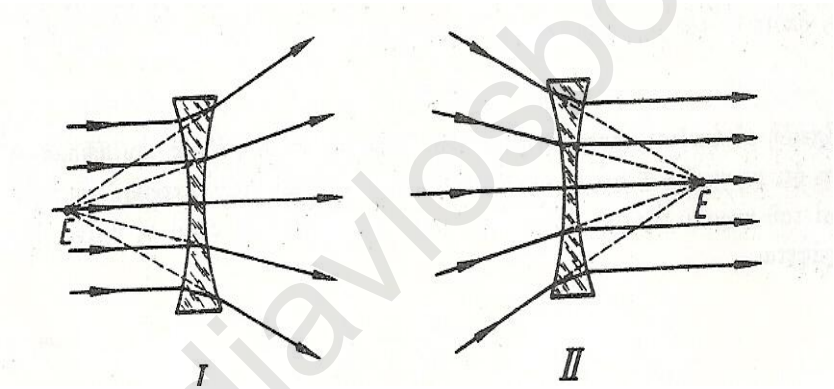
Ο τύπος αυτός ονομάζεται τύπος των φακών.

Αν αντί φωτεινού σημείου έχουμε ένα φωτεινό αντικείμενο το είδωλό του θα σχηματίζεται ομοίως

www.diaviosbooks.gr



Αποκλίνοντες φακοί



Αν πάνω σε έναν αποκλίνοντα φακό πέσει μια δέσμη παράλληλη προς τον κύριο άξονα, μετά την έξοδό της από το φακό θα είναι αποκλίνουσα. Η προέκταση προς τα πίσω των εξερχομένων ακτίνων θα σχηματίζει μιαν φανταστική κυρία εστία.

Αντιθέτως αν πάνω στον αποκλίνοντα φακό πέσει μια συγκλίνουσα δέσμη φωτεινών ακτίνων οι οποίες προεκτεινόμενες συγκλίνουν στην κυρία εστία οι εξερχόμενες φωτεινές ακτίνες της δέσμης θα είναι παράλληλες προς τον οπτικό άξονα, άρα και μεταξύ τους.

www.diavlosbooks.gr

Ισχύ ενός φακού I ονομάζουμε το αντίστροφο της εστιακής απόστασης.
Εγκάρσια μεγέθυνση m ενός φακού ονομάζουμε το πηλίκο του ύψους Α΄Β του ειδώλου δια του ύψους ΑΒ του αντικειμένου. Ισχύει δηλαδή m=A

www.diavlosbooks.gr

Παράρτημα ΙΙ
Κατηγορίες αστρονομικών οργάνων



*Βασική πηγή αυτού του κεφαλαίου είναι το βιβλίο των Μάνου Δανέζης και Στράτου Θεοδοσίου: *«Το Σύμπαν που αγάπησα – Εισαγωγή στην Αστροφυσική»*, Εκδόσεις Δίαυλος, Αθήνα 1998

Κατηγορίες αστρονομικών οργάνων

Το κύριο όργανο σε κάθε είδους αστρονομική παρατήρηση είναι ουσιαστικά ένας συλλέκτης ακτινοβολίας. Προκειμένου για το οπτικό παράθυρο του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που εκτείνεται μεταξύ 3.600-6.900 Α, χρησιμοποιούμε σαν συλλέκτη ακτινοβολίας ένα οπτικό τηλεσκόπιο, ενώ για το ραδιοπαράθυρο (0.5 cm-30m) χρησιμοποιούμε ένα ραδιοτηλεσκόπιο.

Για την ανάλυση και μελέτη, όμως, του ειδώλου του ουράνιου σώματος που παρατηρούμε χρησιμοποιούμε διάφορα βοηθητικά όργανα που γενικά τα χωρίζουμε σε τρεις κατηγορίες:

α. Στους αναλυτές που αναλύουν το σύνθετο φως σε διάφορες συνιστώσες με βάση το μήκος κύματος ή την κατάσταση πόλωσης. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα φίλτρα, οι φασματογράφοι και οι πολωτές.

β. στους δέκτες που είναι κατάλληλα όργανα για τη μέτρηση των φωτονίων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τα ουράνια σώματα. Οι κυριότεροι από αυτούς είναι το μάτι μας, η φωτογραφική πλάκα, το φωτοκύτταρο, ο δέκτης ραδιοκυμάτων.

γ. Στα όργανα μέτρησης που είναι ειδικής κατασκευής όργανα για τη μέτρηση των θέσεων των άστρων, είτε απ' ευθείας στο τηλεσκόπιο, είτε των ειδώλων τους σε φωτογραφικές πλάκες, είτε των φασμάτων τους που έχουν αποτυπωθεί σε φωτογραφικές πλάκες ή φίλμς. στα όργανα αυτά ανήκουν τα μικρόμετρα, οι μετρητικές μηχανές και τα φωτόμετρα.

Χαρακτηριστικά τηλεσκοπίων

Το κύριο κριτήριο της αξίας και της σπουδαιότητας ενός τηλεσκοπίου είναι η διάμετρος του αντικειμενικού του φακού ή του κατόπτρου του. Η διάμετρος αυτή και η εστιακή απόσταση του αντικειμενικού φακού καθορίζουν επαρκώς τις δυνατότητες ενός τηλεσκοπίου.

www.ziovasbooks.gr

«Εστιακός λόγος» (f-number) είναι μια παράμετρος που χαρακτηρίζει κάθε φακό. Αναφέρεται συνήθως στους αντικειμενικούς φακούς ή στα κάτοπτρα των τηλεσκοπίων. Ο εστιακός λόγος είναι ο λόγος της εστιακής απόστασης F προς τη διάμετρο D του αντικειμένικού φακού στις ίδιες μονάδες.

(f-number) **=Εστιακός λόγος =F/D**

Το μέγεθος του πιό αμυδρού αστεριού, που μπορούμε να διακρίνουμε με οπτικό τηλεσκόπιο, διαμέτρου αντικειμενικού φακού D, δίνεται από την εμπειρική σχέση:

m=7,1+5logD

Η «διακριτική ή διαχωριστική ικανότητα» **ω"** ενός τηλεσκοπίου καθορίζει την ικανότητά του να ξεχωρίζει δύο σημεία που βρίσκονται πολύ κοντά. Κάτω, δηλαδή, από μια ορισμένη απόσταση τα δύο σημεία (αστέρια), δεν είναι δυνατόν να ξεχωρίσουν και βλέπονται σαν ένα σημείο. Η διακρίτική ικανότητα ενός τηλεσκοπίου δίνεται γενικά από τη σχέση:

ω=1,22λ/D rad

Επειδή 1 rad=206,265" και λ=5.000 Α για την οπτική περιοχή, βρίσκουμε τελικά ότι πρακτικά ισχύει:

ω"=12,5/D(cm)

Δηλαδή, αν δύο αστέρια βρίσκονται σε γωνιώδη απόσταση ίση ή μεγαλύτερη από την ανωτέρω, τότε διακρίνονται μεταξύ τους και δεν φαίνονται σαν ένα. Το πρόβλημα αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι λόγω των περιθλαστικών φαινομένων του τηλεσκοπίου, το είδωλο ενός σημείου δεν φαίνεται σαν σημείο αλλά σαν δίσκος (δίσκος του Airy) με ακτίνα ω".

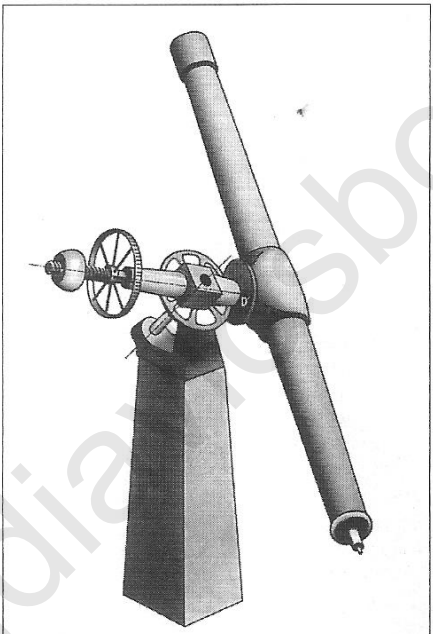
«Μεγέθυνση τηλεσκοπίου» *M* είναι ο λόγος της γωνίας με την οποία βλέπουμε το ουράνιο σώμα με το τηλεσκόπιο προς τη γωνία με την οποία φαίνεται το ίδιο ουράνιο σώμα με το μάτι.

www.diaulosbooks.gr

Κατά προσέγγιση, μπορούμε να ορίσουμε σαν μεγέθυνση τηλεσκοπίου το λόγο της εστιακής απόστασης F, του αντικειμενικού φακού προς την εστιακή απόσταση f του προσοφθάλμιου φακού που χρησιμοποιούμε. Δηλαδή:

$$\mathbf{M=F/f}$$

Διοπτρικά τηλεσκόπια



Απλό διοπτρικό τηλεσκόπιο.

Στα διοπτρικά τηλεσκόπια ο αντικειμενικός τους φακός έχει εστιακό λόγο από f/12 μέχρι f/ 20, άρα έχουν σχετικά μικρό οπτικό πεδίο. Από τα κυριότερα σφάλματα των φακών είναι το σφαιρικό και το χρωματικό.

www.diastbooks.gr

Σφαιρικό, ονομάζουμε το σφάλμα όπου οι ακτίνες από την περιφέρεια του φακού εστιάζουν πιό κοντά στο φακό από αυτές που περνούν από το κέντρο του φακού.
«Χρωματικό», ονομάζουμε το σφάλμα όπου οι ακτίνες με μεγαλύτερο μήκος κύματος εστιάζουν πιο μακρια από το φακό.
Για να βελτιωθεί η κατάσταση αυτή, ο αντικειμενικός φακός αποτελείται κατά κανόνα από σύστημα δύο φακών, ενός συγκλίνοντα και ενός αποκλίνοντα. Με κατάλληλη επιλογή των ακτίνων καμπυλότητας και της ποιότητας των φακών μπορούμε να πετύχουμε την ίδια εστιακή απόσταση για δύο διαφορετικά μήκη κύματος. Τότε ο φακός ονομάζεται «αχρωματικός».
Τα διοπτρικά τηλεσκόπια διακρίνονται σε οφθαλμοσκοπικά και φωτογραφικά. Τα πρώτα είναι αχρωματικά στην περιοχή των 5.500 Α ενώ τα δεύτερα στην περιοχή των 4.300 Α. Χρησιμοποιούνται για αστρομετρικές παρατηρήσεις.
Μια άλλη κατηγορία διοπτρικών τηλεσκοπίων είναι οι «αστρογράφοι» με μεγάλο οπτικό πεδίο, πάνω από 5°, μικρό εστιακό λόγο, μεταξύ f/4 και f/7 και με αντικειμενικό σύστημα τριών ή τεσσάρων φακών για καλύτερη διόρθωση των σφαλμάτων των φακών. χρησιμοποιούνται για τη φωτογράφιση αστρικών πεδίων και τη σύνταξη καταλόγων και χαρτών.
Σήμερα δεν κατασκευάζονται πια μεγάλα διοπτρικά τηλεσκόπια, το μεγαλύτερο που υπάρχει βρίσκεται στο Yerkes των Ηνωμένων Πολιτειών από το 1897 και έχει διάμετρο αντικειμενικού φακού 102 cm, γιατί από τη μια μεριά χρειαζόμαστε πάρα΄πολύ μεγάλα διοπτρικά τηλεσκόπια για να παρατηρήσουμε ανυδρά αστέρια και τεχνικά αυτό το διοπτρικό τηλεσκόπιο είναι πολύ δύσκολο.
Από την άλλη μεριά τα κατοπτρικά τηλεσκόπια παρουσιάζουν μεγάλα πλεονεκτήματα τόσο κατασκευαστικοοικονομικά όσο και επιστημονικά (για παράδειγμα δεν παρουσιάζουν καθόλου χρωματικό σφάλμα).

Κατοπτρικά τηλεσκόπια

Υπάρχουν διάφοροι τύποι κατοπτρικών τηλεσκοπίων. Σ' όλους τους τύπους υπάρχει το πρωτεύον κάτοπτρο, συνήθως παραβολοειδούς σχήματος για να περιορίζεται δραστικά το σφαιρικό σφάλμα, και το δευτερεύον κάτοπτρο που διαφέρει από τον ένα τύπο στον άλλο.

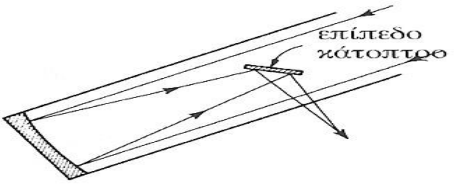
Τηλεσκόπιο Newton

Στο τηλεσκόπιο αυτού του τύπου ένα διαγώνιο επίπεδο κάτοπτρο με κλίση 45° ως προς τον κύριο άξονα, πριν την κυρία εστία του πρωτεύοντος κατόπτρου, κατευθύνει τη φωτεινή δέσμη έξω από το σωλήνα του τηλεσκοπίου πλευρικά, όπου τοποθετείται ο προσοφθάλμιος φακός. Κατασκευάζεται συνήθως σε μικρά μεγέθη και είναι διαδεδομένο στους ερασιτέχνες αστρονόμους. Υπάρχουν βέβαια και μεγάλα νευτώνεια τηλεσκόπια όπως το τηλεσκόπιο του Mount Wilson στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ (1918) με διάμετρο κατόπτρου 254 cm και εστιακή απόσταση 1290 cm.

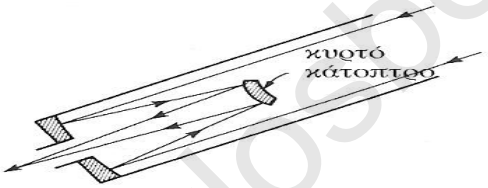
Τηλεσκόπιο Cassegrain

Το δευτερεύον κάτοπτρο αυτού του τηλεσκοπίου είναι κυρτό, υπερβολοειδές και είναι τοποθετημένο πριν από την εστία του πρωτεύοντος κατόπτρου. Η φωτεινή δέσμη βγαίνει από μία οπή στο κέντρο του πρωτεύοντος κατόπτρου. Είναι πολύ διαδεδομένο τηλεσκόπιο, γιατί δεν είναι ογκώδες και μπορούμε ε΄ύκολα να μεγαλώσουμε τη μεγένθυσή του αλλάζοντας το δευτερεύον κάτοπτρο. Ο εστιακός λόγος αυτών των τηλεσκοπίων κυμαίνεται μεταξύ f/10 και f/20. Αυτού του τύπου είναι τα περισσότερα τηλεσκόπια όπως του Palomar του Kitt Peak του Cerro Tololo για να αναφέρουμε τα κυριότερα.

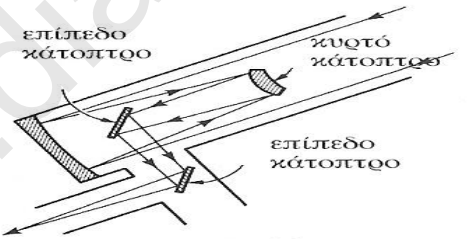
www.diavlosbooks.gr



α) Newton



β) Cassegrain



γ) Coudé

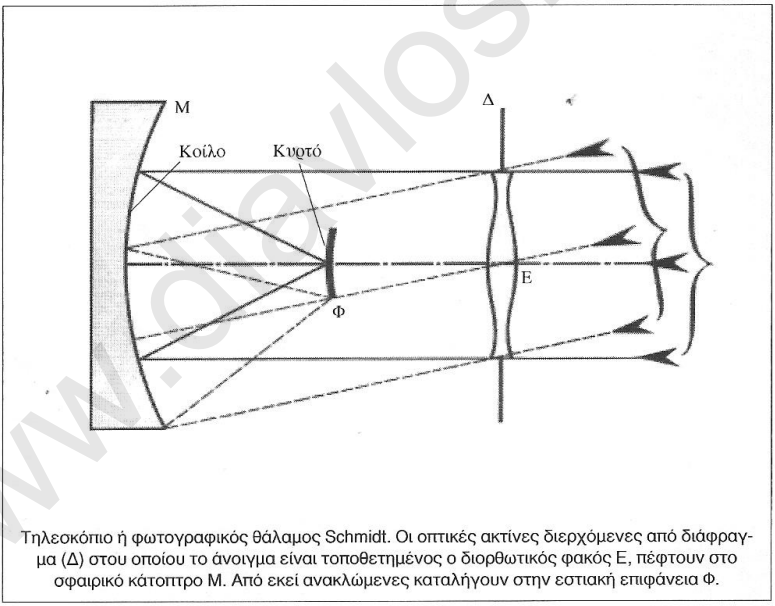
Τύποι κατοπτρικών τηλεσκοπίων
(α) Εστία Newton, (β) Εστία Cassegrain,
(γ) Εστία Coudé.

www.diavlosbooks.gr

Τηλεσκόπιο Coudé

Είναι βασικά, τύπου Cassegrain, όμως η φωτεινή δέσμη μετά την ανάκλασή της από το δευτερεύον κάτοπτρο εκτρέπεται με τη βοήθεια δύο επίπεδων κατόπτρων παίρνοντας τη διεύθυνση του πολικού άξονα για να καταλήξει μέσα σε ένα σταθερό θάλαμο παρατήρησης, όπου συνήθως βρίσκεται τοποθετημένος μεγάλος σταθερός φασματογράφος και άλλα βοηθητικά όργανα. Τα μεγαλύτερα τηλεσκόπια είναι συνήθως αυτού του τύπου, φέρουν δηλαδή και εστία Coydé (Coyudé σημαίνει αγκωνωτό τηλεσκόπιο, από το σχήμα του και δεν είναι το όνομα του κατασκευαστή του.

Τηλεσκόπιο Schmith



Τηλεσκόπιο ή φωτογραφικός θάλαμος Schmidt. Οι οπτικές ακτίνες διερχόμενες από διάφραγμα (Δ) στου οποίου το άνοιγμα είναι τοποθετημένος ο διορθωτικός φακός Ε, πέφτουν στο σφαιρικό κάτοπτρο Μ. Από εκεί ανακλώμενες καταλήγουν στην εστιακή επιφάνεια Φ.

www.diavlosbooks.gr

Είναι τηλεσκόπια με εστιακούς λόγους f/2 μέχρι f/3, δηλαδή έχουν σχετικά μικρές εστιακές αποστάσεις (άρα είναι μικρά σε μήκος) και επομένως έχουν μεγάλο οπτικό πεδίο. Ακόμα λόγω των μικρ΄ών εστιακών τους λόγων μπορούν να καταγράφουν αμυδρά αστέρια σε σχετικά μικρό χρόνο έκθεσης συγκρινόμενα με τα αντίστοιχα συνήθη τηλεσκόπια. Πράγματι με τα τηλεσκόπια τύπου Schlith με τον κατάλληλο συνδυασμό κατόπτρων και φακών μπορούμε να φωτογραφίζουμε εκτάσεις σε πολλές τετραγωνικές μοίρες του ουρανού. Αυτό το γεγονός αποτελεί το πλεονέκτημά τους ως προς τα συνήθη διοπτρικά και κατοπτρικά τηλεσκόπια που όσο μεγαλύτερα είναι τόσο πιο περιορισμένο έχουν το οπτικό τους πεδίο που συνήθως είναι λίγα τετραγωνικά λεπτά της μοίρας.

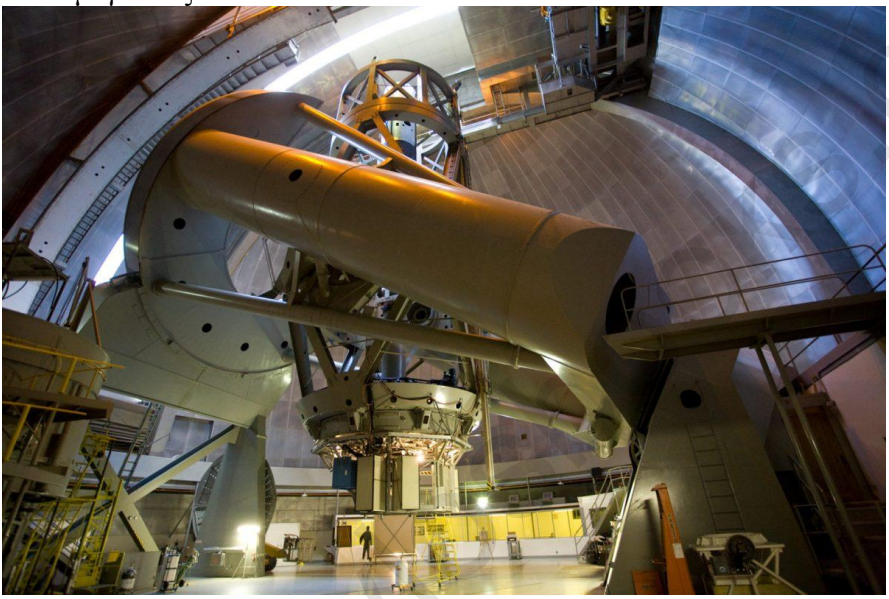
Δεδομένου ότι στο τηλεσκόπιο Schmith το είδωλο σχηματίζεται από κάτοπτρο, μπορεί να θεωρηθεί σαν κατοπτρικό τηλεσκόπιο, όμως οι ακτίνες από το ουράνιο σώμα, πριν πέσουν πάνω στο κάτοπτρο, περνούν από ένα διορθωτικό φακό, ειδικά σχεδιασμένο για το συγκεκριμένο κάτοπτρο. Ο διορθωτικός αυτός φακός είναι σχεδόν επίπεδος και συνήθως είναι παχύτερος στο κέντρο απ’ ότι στην περιφέρεια. Έτσι κατά περιοχές λειτουργεί σαν συγκλίνοντας ή αποκλίνοντας φακός.

Ένας τέτοιος συνδυασμός διορθωτικού φακού και κατόπτρου εξαφανίζει όλα τα σφάλματα των φακών και των κατόπτρων και παρουσιάζει μόνο καμπύλωση του εστιακού επιπέδου. Εάν η φωτογραφική πλάκα είναο μικρών διαστάσεων το σφάλμα αυτό είναι αμελητέο. Έτσι κι αλλοιώς όμως, το σφάλμα αυτό διορθώνεται σχετικά εύκολα σε διάφορες παραλλαγές του τηλεσκοπίου Schmith.

Φωτογραφικό τηλεσκόπιο Schmith 122 cm, παρόμοιο με το τηλεσκόπιο του Palomar, εγκαταστάθηκε το 1973 στο Siding spring της Αυστραλίας. Το τηλεσκόπιο αυτό έγινε με

www.diaylosbooks.gr

βελτιωμένη τεχνική και μπορεί να απεικονίζει αστέρια μέχρι 23ου μεγέθους.



Το τηλεσκόπιο του Palomar

Συστήματα στήριξης τηλεσκοπίων

Κάθε τηλεσκόπιο έχει ένα σύστημα στήριξης που του εξασφαλίζει:

α. Ελεύθερη κίνηση προς κάθε σημείο της ουράνιας σφαίρας.

β. Τη συνεχή παρακολούθηση με μεγάλη ακρίβεια (ακριβής οδήγηση) του ουράνιου σώματος που παρατηρούμε, σε τρόπο ώστε να βρίσκεται αυτό συνεχώς στο ίδιο σημείο του δέκτη μας είτε φωτογραφική πλάκα είναι αυτό είτε οποιοδήποτε άλλο όργανο.

Οι κυριότερες στηρίξεις τηλεσκοπίων είναι:

Η αλταζιμουθιακή στήριξη

Στη στήριξη αυτή ο ένας άξονας είναι κατακόρυφος και ο άλλος οριζόντιος κατά το οριζόντιο σύστημα συντεταγμένων.
Αυτός ο τρόπος στήριξης παρουσιάζει δυσκολίες για την καλή οδήγηση του τηλεσκοπίου, γιατί απαιτεί περιστροφή γύρω από τους δύο άξονες. Χρησιμοποιείται στα μεγάλα βαριά τηλεσκόπια, όπως είναι το κατοπτρικο τηλεσκόπιο των 6m του Καυκάσου στη πρόην Σοβιετική Ένωση, (το μόνο τηλεσκόπιο με αλταζιμουθιακή στήριξη) καθώς και στα μεγάλα ραδιοτηλεσκόπια.

Η Ισημερινή στήριξη

Είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος στήριξης των τηλεσκοπίων. Στη στήριξη αυτή ο ένας άξονας είναι παράλληλος προς τον πολικό άξονα και ο άλλος κάθετος στον πρώτο κατά το ισημερινό σύστημα συντεταγμένων.
Για την οδήγηση του τηλεσκοπίου απαιτείται περιστροφή γύρω από τον ένα μόνο άξονα με γωνιακή ταχύτητα ίση με 360°/24h. Σχεδόν όλα τα τηλεσκόπια έχουν ισημερινή στήριξη.
Όλα τα αστέρια έχουν ημερησία κίνηση από την ανατολή προς τη δύση και διαγράφουν τροχιές σε κύκλους παράλληλους προς τον ουράνιο ισημερινό πάνω η κάτω από αυτόν ανάλογα με την απόκλισή τους δ κατά τη διάρκεια του χρόνου. Για να μπορούμε λοιπόν να παρατηρήσουμε το αστέρι στην ημερησία κίνησή του όλα τα τηλεσκόπια με ισημερινή κίνηση είναι εφοδιασμένα με τον αστροστάτη.
Ο αστροστάτης είναι ένας ωρολογιακός ή ηλεκτρονικός μηχανισμός που δίνει κίνηση στο τηλεσκόπιο ίση και αντίθετη με την ημερησία κίνηση της γης. Έτσι κατά την ώρα της παρατήρησης έχουμε σταθερό οπτικό πεδίο και μέσα στο σταυρόνημα του προσοφθάλμιου συστήματος συνεχώς το αστέρι που παρατηρούμε.

www.diavlospooks.gr

Ραδιοτηλεσκόπια

Τα ραδιοτηλεσκόπια είναι δέκτες ραδιοφωνικών κυμάτων συλλέγουν και καταγράφουν την ακτινοβολία εκείνη που φθάνει στη Γη μέσα από το ραδιοφωνικό παράθυρο.

Τα ραδιοτηλεσκόπια ερευνούν πιο μακρινές αποστάσεις συγκριτικά με τα οπτικά τηλεσκόπια, διότι η ραδιοφωνική ακτινοβολία δεν επηρεάζεται από τη μεσοαστρική ύλη. Έχουν ακόμα τη δυνατότητα να παρακολουθούν ημέρα και νύχτα τις ραδιοπηγές εφ' όσον βρίσκονται πάνω από τον ορίζοντα και δεν επηρεάζονται από τα σύννεφα.

Πρέπει να σημειώσουμε ότι με τα ραδιοτηλεσκόπια δεν βλέπουμε τα ουράνια σώματα αλλά διαβάζουμε σήματα (εγγραφήματα) σε κάποιον καταγραφέα.

Κατά κανόνα τα ουράνια σώματα που εκπέμπουν στο ορατό εκπέμπουν και ραδιοφωνική ακτινοβολία.

Τα ραδιοτηλεσκόπια στην πιό απλή τους μορφή αποτελούνται από το συλλέκτη ακτινοβολίας, που γενικά είναι μια κατευθυνόμενη παραβολοειδής επιφάνεια από δικτυωτό σύρμα (μεταλλική επιφάνεια) και ονομάζεται κεραία λήψης. Η ενέργεια που συλλέγεται από την κεραία λήψης συγκεντρώνεται στι δέκτη ακτινοβολίας που είναι ένα απλό δίπολο στην κυρία εστία της παραβολοειδούς επιφάνειας. Στο δέκτη ακτινοβολίας γίνεται επιλογή των σημάτων ανάλογα με τη συχνότητά τους. Έτσι η κεραία λήψης αντιστοιχεί με οπτικό τηλεσκόπιο ενώ ο δέκτης ακτινοβολίας με φασματογράφο. Τελικά μέσω του δέκτη η προσπίπτουσα ραδιοφωνική ακτινοβολία μετατρέπεται σε διαφορά δυναμικού που μετά από ενίσχυση καταγράφεται.

Σταθερά ραδιοτηλεσκόπια

Το μεγαλύτερο ακίνητο ραδιοτηλεσκόπιο του κόσμου γνωστό σαν RATAN-600, βρίσκεται στην περιοχή Zelenchukskaya του Καυκάσου στη Σοβιετική Ένωση. Έχει τη μορφή δακτυλίου με

www.diavlosbooks.gr

διάμετρο 600 m και είναι τοποθετημένο περίπου στην ίδια περιοχή με το κατοπτρικό τηλεσκόπιο τβν 6 m.
Το δεύτερο σε μέγεθος ακίνητο ραδιοτηλεσκόπιο βρίσκεται στην κοιλάδα του Arecibo στο Puerto Rico και έχει διάμετρο 305 m. Ανήκει στο Πανεπιστήμιο του Cormell Στις ΗΠΑ.

Ραδιοτηλεσκόπια με κατευθυνόμενη κεραία

Το μεγαλύτερο ραδιοτηλεσκόπιο με κατευθυνόμενη κεραία και διάμετρο 100 m βρίσκεται στο Effelsberg της Γερμανίας καντά στη Βόννη. Εγκαταστάθηκε εκεί το 1972 από το Ινστιτούτο Max Planck.
Το δεύτερο σε μέγεθος είναι το παραβολικό ραδιοτηλεσκόπιο του Green Bank στη Δ. Βιρτξίνια στις Ηπα με διάμετρο 92 m. Αυτό όμως κινείται μόνο κατακόρυφα δηλαδή παρατηρεί και καταγράφει ραδιοπηγές που περνούν από τον μεσημβρινό.
Δεδομένου ότι τα ραδιοτηλεσκόπια έχουν μικρή διακριτική ικανότητα σε σχέση με τα οπτικά τηλεσκόπια αφού όπως είδαμε

$$\omega=1{,}22\lambda/D \text{ (σε rad)}$$

Επειδή το μήκος κύματος λ για τα ραδιοτηλεσκόπια είναι της τάξης των εκατοστών για νά έχουν την αυτή διακριτική ικανότητα με τα οπτικά τηλεσκόπια θα έπρεπε να έχουν πολύ μεγάλες διαμέτρους κεραιών λήψεως.
Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκαν τα σύνθετα ραδιοτηλεσκόπια , τα ραδιοσυμβολόμετρα, όπου έχουμε σύστημα δύο ή περισσοτέρων ραδιοτηλεσκοπίων σε σχετικά μεγάλες αποστάσεις μεταξύ τους, οπότε είναι σαν να έχουμε ένα ραδιοτηλεσκόπιο με διάμετρο ίση με την απόσταση που τα χωρίζει. Στο new Mexico στις ΗΠΑ αποπερατώθηκε το 1980 το μεγαλύτερο σύνθετο ραδιοτηλεσκόπιο του κόσμου το V.L.A (Very Large Array) που αποτελείται από 27 παραβολικές κεραίες με διάμετρο 25 ; η κάθε μία , που σχηματίζουν ένα τεράστιο Υ.

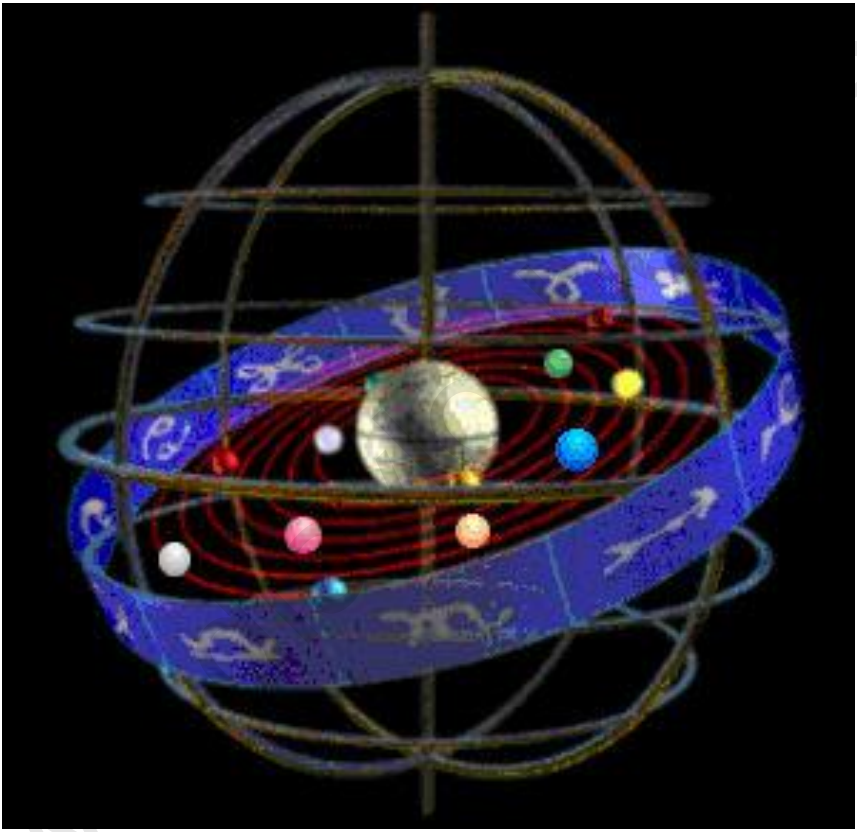
www.diavlosbooks.gr

Κάθε ένας βραχίονας του Υ έχει 9 κεραίες και μήκος περίπου 20,8 Km. Όταν οι 27 αυτές παραβολικές κεραίες είναι στραμένες στο ίδιο σημείο του ουρανού ισοδυναμούν με ένα ραδιοτηλεσκόπιο διαμέτρου περίπου 27 Km. Ένα τελειοποιημένο ηλεκτρονικό σύστημα ρυθμίζει τον προσανατολισμό των κεραιών. Ένα ψυκτικό σύστημα διατηρεί τους δέκτες σε θερμοκρασία 258 : κάτω από το μηδέν , εξαφανίζοντας τα παράσιτα και τέλος ένα σύμπλεγμα από ηλεκτρονικούς υπολογιστές επεξεργάζεται τα στοιχεία που συλλέγονται δίνοντας αποτελέσματα σε αριθμούς ή εικόνες σε λίγα δευτερόλεπτα.

Όπως φαίνεται από τα πιό πάνω ο συνδιασμός των ραδιοτηλεσκοπίων στο New Mexico αποτελεί τη σπουδαιότερη εγκατάσταση της σύγχρονης Ραδιοαστρονομίας.

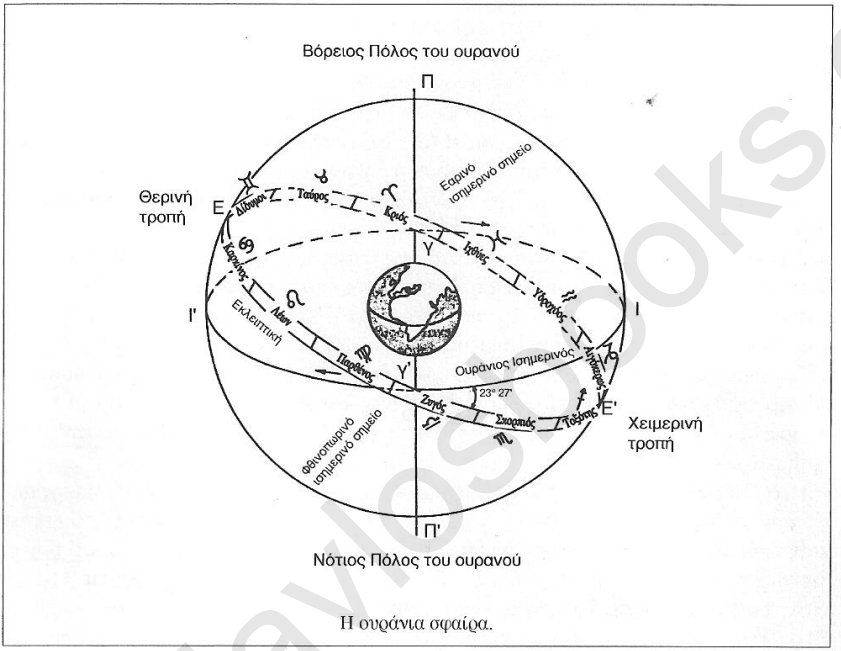
www.diavlos.books.gr

Παράρτημα ΙΙΙ
Στοιχειώδεις αστρονομικές γνώσεις



*Βασική πηγή αυτού του κεφαλαίου είναι το βιβλίο των Μάνου Δανέζης και Στράτου Θεοδοσίου: *«Το Σύμπαν που αγάπησα – Εισαγωγή στην Αστροφυσική»*, Εκδόσεις Δίαυλος, Αθήνα 1998

Ουράνια σφαίρα



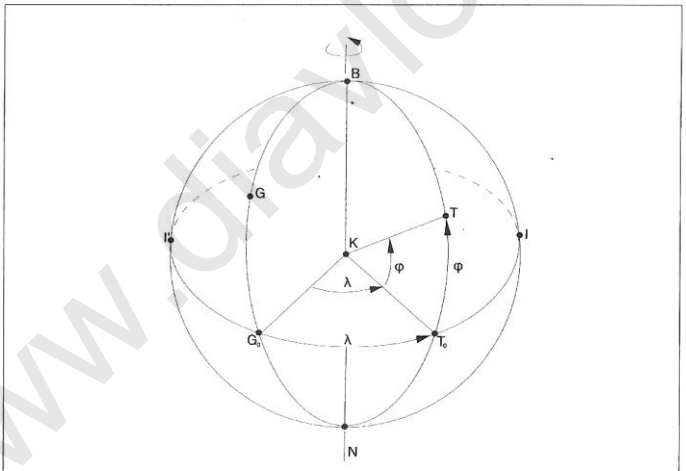
Η ουράνια σφαίρα.

Αν μια όμορφη καλοκαιριάτικη νύχτα στρέψουμε το βλέμμα μας στον ουρανό, θα έχουμε την εντύπωση ότι όλα τ' αστέρια βρίσκονται τοποθετημένα στην εσωτερική επιφάνεια μιας τεράστιας σφαίρας, της ουράνιας σφαίρας, που έχει ως κέντρο της τη Γη. Λόγω της περιστροφής της Γης γύρω από τον άξονά της με κατεύθυνση από τη δύση προς την ανατολή, η ουράνια σφαίρα φαίνεται να περιστρέφεται με αντίθετη κατεύθυνση, από την ανατολή προς τη δύση, γύρω από έναν άξονα περιστροφής που είναι προέκταση του άξονα περιστροφής της Γης. Ο άξονας αυτός τέμνει την ουράνια σφαίρα σε δύο σημεία, τον βόρειο ουράνιο

www.diavlosbooks.gr

πόλο (Π) και τον νότιο ουράνιο πόλο (Π'). Ο άξονας ΠΠ' ονομάζεται άξονας του κόσμου.
Κάθε επίπεδο που διέρχεται από το κέντρο της ουράνιας σφαίρας την τέμνει κατά ένα μέγιστο κύκλο. Ομοίως υπάρχει μόνο ένας μέγιστος κύκλος που διέρχεται από δύο τυχαία σημεία Σ και Σ' της ουράνιας σφαίρας. Το τόξο του μέγιστου κύκλου που ενώνει τα δύο σημεία Σ και Σ ' ονομάζεται γωνιώδης απόστασή τους. Η γωνιώδης απόσταση δεν αποτελεί μέτρο της πραγματικής απόστασης δύο άστρων, αλλά της απόστασης των προβολών τους πάνω στην ουράνια σφαίρα, κατά μήκος των διευθύνσεων των οπτικών ακτίνων τους. Οπτική ακτίνα ενός άστρου ονομάζουμε την ακτίνα της ουράνιας σφαίρας που συνδέει το μάτι του παρατηρητή με το άστρο.
Καθορισμός της θέσης ενός άστρου

Γήινες γεωγραφικές συντεταγμένες



Γεωγραφικές συντεταγμένες Τ(λ,φ).

www.diavlosbooks.gr

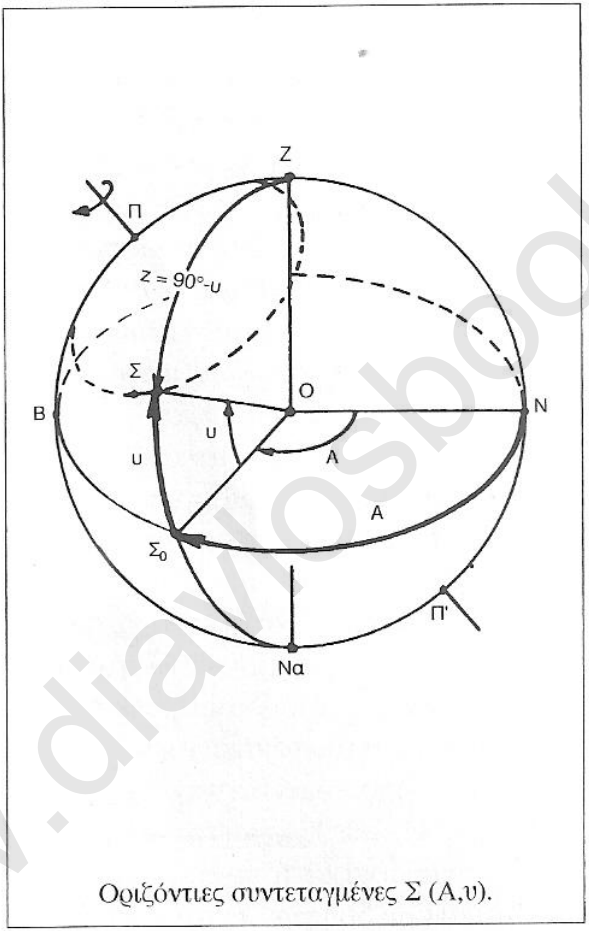
Επειδή η μέθοδος καθορισμού της θέσης ενός άστρου πάνω στην ουράνια σφαίρα αποτελεί απλή λογική προέκταση της μεθόδου καθορισμού της θέσης ενός σημείου πάνω στη γήινη σφαίρα, θα ήταν αρκετά ενδιαφέρον να υπενθυμίσουμε κάποια στοιχεία προσδιορισμού των γήινων γεωγραφικών συντεταγμένων. Η Γη περιστρέφεται κατά την κατεύθυνση δύσης - ανατολής, γύρω από ένα φανταστικό άξονα που την τέμνει σε δύο σημεία, τον βόρειο (Β.Π) και τον νότιο (Ν.Π) γεωγραφικό πόλο.
Ο μέγιστος κύκλος που το επίπεδό του τέμνει κάθετα τον άξονα της Γης ονομάζεται γήινος ισημερινός και χωρίζει τη Γη σε δύο ημισφαίρια, το βόρειο και το νότιο. Κάθε επίπεδο παράλληλο προς το επίπεδο του ισημερινού τέμνει τη γήινη σφαίρα κατά κύκλους μικρότερους, αλλά παράλληλους προς τον ισημερινό. Πάνω στην επιφάνεια της Γης μπορούμε να χαράξουμε άπειρους παράλληλους προς τον ισημερινό κύκλους.
Ονομάζουμε γεωγραφικό μεσημβρινό κάθε μέγιστο κύκλο της γήινης σφαίρας που περνάει από τον βόρειο και νότιο γεωγραφικό πόλο. Είναι φανερό ότι υπάρχουν άπειροι γεωγραφικοί μεσημβρινοί, διαφορετικοί μεταξύ τους, που μπορούν να χαραχτούν στην επιφάνεια της γήινης σφαίρας. Αυτό όμως που έχει ιδιαίτερη σημασία είναι ότι από κάθε σημείο της γήινης σφαίρας διέρχεται μόνο ένας παράλληλος προς τον ισημερινό κύκλος και ένας μόνο γεωγραφικός μεσημβρινός. Έτσι, κάθε σημείο της γήινης σφαίρας ορίζεται ως η τομή ενός παράλληλου προς τον ισημερινό κύκλου και κάποιου συγκεκριμένου μεσημβρινού. Επειδή όμως οι δύο προηγούμενοι γήινοι κύκλοι δεν έχουν ένα αλλά δύο σημεία τομής, δημιουργήθηκε η ανάγκη βαθμολόγησης των κύκλων του ισημερινού και των μεσημβρινών, καθώς και ο καθορισμός ως πρώτου κάποιου μεσημβρινού. Ως πρώτος μεσημβρινός ορίστηκε, μετά από διεθνή συμφωνία, ο μεσημβρινός που διέρχεται από το Παλαιό Αστεροσκοπείο του Γκρήνουιτς. Το σημείο τομής του πρώτου αυτού μεσημβρινού με τον ισημερινό αποτελεί την αρχή

www.diavlosbooks.gr

της βαθμολόγησης του κύκλου του ισημερινού, κατά τη διεύθυνση την αντίθετη της κίνησης των δεικτών του ρολογιού.
Καλύπτοντας λοιπόν την επιφάνεια της Γης με ένα φανταστικό δίκτυο παράλληλων κύκλων και μεσημβρινών, που τέμνονται μεταξύ τους, μπορούμε να προσδιορίσουμε τη θέση οποιουδήποτε σημείου στην επιφάνειά της, προσδιορίζοντας ακριβώς τον παράλληλο κύκλο και τον μεσημβρινό που βρίσκεται το σημείο, από τις αποστάσεις τους από τον ισημερινό και τον πρώτο μεσημβρινό αντίστοιχα.
Έστω ότι έχουμε έναν τόπο Τ στην επιφάνεια της Γης και θέλουμε να προσδιορίσουμε τις γεωγραφικές συντεταγμένες του. Φέρνουμε αρχικά τον γεωγραφικό μεσημβρινό ΒΤΤΟΝ, που διέρχεται από τον τόπο αυτό. Η δίεδρη γωνία που σχηματίζεται από τον μεσημβρινό του τόπου και τον μεσημβρινό του Γκρήνουιτς BGG0N ορίζει το γεωγραφικό μήκος λ του τόπου και μετριέται πάνω στον ισημερινό, λ = GoTo με αρχή το σημείο Go, από 0° έως 180° (ή από 0 έως 12 ώρες), δυτικά (+), ή ανατολικά (-) του Γκρήνουιτς. Όλοι οι τόποι που βρίσκονται στον ίδιο μεσημβρινό έχουν το ίδιο γεωγραφικό μήκος λ. Η γωνία που σχηματίζει η διεύθυνση της κατακόρυφης του τόπου ΚΤ με τον γήινο ισημερινό ονομάζεται γεωγραφικό πλάτος φ του τόπου και μετριέται πάνω στον μεσημβρινό του τόπου από 0° (στον ισημερινό) μέχρι +90° στον βόρειο πόλο, και από 0° μέχρι -90° στον νότιο πόλο.
Για να προσδιορίσουμε λοιπόν τη θέση κάποιου σημείου πάνω στην ουράνια σφαίρα, θα πρέπει αρχικά να ορίσουμε ένα σύστημα δύο τεμνομένων μέγιστων ουράνιων κύκλων, που θα δημιουργήσουν στην επιφάνεια της ουράνιας σφαίρας το δίκτυο των κύκλων των οποίων οι τομές θα προσδιορίσουν τη θέση των σημείων της ουράνιας σφαίρας. Ανάλογα με το αρχικό σύστημα τεμνομένων mégistvn ουράνιων κύκλων που επιλέγουμε, μπορούμε να ορίσουμε διάφορα συστήματα συντεταγμένων, τα οποία περιγράφουμε στη συνέχεια.

www.physicsbooks.gr

Σύστημα Οριζόντιων Συντεταγμένων Σ (Α, υ)



Οριζόντιες συντεταγμένες Σ (Α,υ).

Ως κατακόρυφη ενός τόπου πάνω στη γήινη σφαίρα ορίζουμε τη διεύθυνση του νήματος της στάθμης στον τόπο αυτό. Η κατακόρυφη ενός τόπου, προεκτεινόμενη, τέμνει την ουράνια σφαίρα σε δύο σημεία, το Ζενίθ (Z) και το Ναδίρ (Να).

www.diavlosbooks.gr

Ονομάζουμε ορίζοντα ενός τόπου τον μέγιστο κύκλο της ουράνιας σφαίρας που τέμνει κάθετα την κατακόρυφη του τόπου αυτού. Ο μέγιστος κύκλος της ουράνιας σφαίρας που ορίζεται από την κατακόρυφη του τόπου, διέρχεται δηλαδή από το Ζενίθ και το Ναδίρ, ονομάζεται κατακόρυφος κύκλος. Ο μέγιστος κύκλος της ουράνιας σφαίρας, που ορίζεται από την κατακόρυφη του τόπου και τον άξονα του κόσμου ΠΠ', ονομάζεται ουράνιος μεσημβρινός. Τέμνει τον ορίζοντα σε δύο σημεία, τον βορρά (Β) και τον νότο (Ν), και ταυτίζεται με τον κατακόρυφο του νότου. Η γραμμή βορρά - νότου (ΒΝ) ονομάζεται μεσημβρινή γραμμή, και η κάθετος διάμετρος (ΑΔ) προς αυτήν, που ορίζει τα σημεία ανατολής (Α) και δύσης (Δ), ονομάζεται άξονας του μεσημβρινού.

Η ανατολή βρίσκεται πάντοτε στα δεξιά του παρατηρητή, όταν αυτός είναι στραμμένος προς τον βορρά. Το σύστημα των οριζόντιων συντεταγμένων έχει ως μέγιστους κύκλους αναφοράς τον ορίζοντα και τον κατακόρυφο του νότου του τόπου. Πάνω στον ορίζοντα, αρχή μέτρησής του έχουμε ορίσει το σημείο του νότου (Ν).

Εάν θέλουμε να βρούμε τις οριζόντιες συντεταγμένες ενός άστρου Σ πάνω στην ουράνια σφαίρα, φέρουμε αρχικά τον κατακόρυφο κύκλο του άστρου ΖΣΝα. Ο μέγιστος αυτός κύκλος τέμνει τον ορίζοντα σε ένα σημείο Σο. Το τόξο ΝΣο ονομάζεται αζιμούθιο, Α, του αστεριού και ορίζεται ως η αντίστοιχη επίπεδη της δίεδρης γωνίας που σχηματίζεται από το επίπεδο του κατακόρυφου του νότου και του κατακόρυφου κύκλου του αστεριού. Η μέτρηση του αζιμούθιου γίνεται πάνω στον ορίζοντα, από 0° έως 360°, κατά την ανάδρομη φορά (φορά των δεικτών του ρολογιού), με αρχή μέτρησης το σημείο του νότου Ν. Το αζιμούθιο στη Ναυτιλία, στη Σπηλαιολογία και στην Ορειβασία ορίζεται με αρχή τον βορρά, θεωρώντας ότι αζιμούθιο είναι η γωνία πορείας σε σχέση με τον βορρά.

www.diavlosbooks.gr

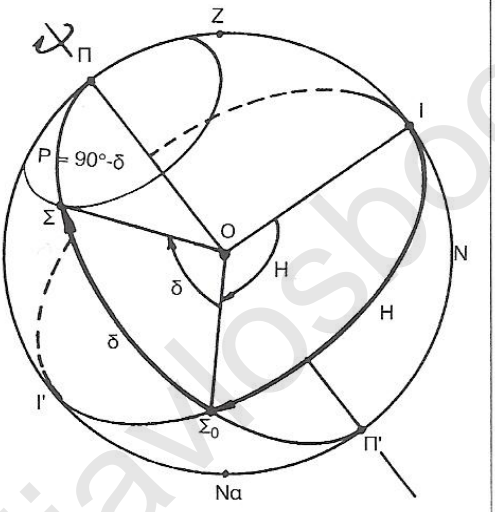
Το τόξο ΣοΣ είναι η δεύτερη συντεταγμένη που υπολογίζουμε και ονομάζεται ύψος του αστεριού, υ. Ως ύψος ενός άστρου ορίζεται η γωνιώδης απόστασή του από τον ορίζοντα του τόπου. Μετριέται πάνω στον κατακόρυφο κύκλο του άστρου από 0° μέχρι +90° από τον ορίζοντα προς το Ζενίθ, Ζ, ή από 0° έως -90° από τον ορίζοντα προς το Ναδίρ, Να, του τόπου. Η συμπληρωματική του ύψους γωνία z = 90°-υ ονομάζεται ζενιθία απόσταση του άστρου και μετριέται πάνω στον κατακόρυφο του άστρου από 0° έως 180° προς το Ναδίρ, με αρχή μέτρησης το Ζενίθ. Το αζιμούθιο (Α) και το ύψος (υ) κάθε άστρου Σ(Α,υ) αποτελούν τις οριζόντιες συντεταγμένες του. Το σύστημα των οριζόντιων συντεταγμένων είναι αυτό που αντιλαμβανόμαστε άμεσα και το οποίο αποτελεί το φυσικό σύστημα παρατηρήσεων.

Σύστημα Ισημερινών Συντεταγμένων Σ (Η, δ)

Στο σύστημα αυτό βασικοί μέγιστοι ουράνιοι κύκλοι είναι ο ουράνιος ισημερινός ΙΣοΙ' και ο ουράνιος μεσημβρινός ΠΖΠ'Να που συμπίπτει με τον ωριαίο του νότου ΠΝΠ'. Ο ουράνιος ισημερινός είναι ο μέγιστος κύκλος της ουράνιας σφαίρας που, αποτελώντας προέκταση του γήινου ισημερινού, τέμνει κάθετα τον άξονα του κόσμου ΠΠ'. Ο ουράνιος μεσημβρινός ΠΖΠ'Να είναι ο μέγιστος κύκλος της ουράνιας σφαίρας που ορίζεται από την κατακόρυφη ΖΝα και τον άξονα του κόσμου ΠΠ', είναι δε κάθετος στον ορίζοντα του τόπου και στον ουράνιο ισημερινό.
Ωριαίο κύκλο ενός άστρου ή ενός σημείου της ουράνιας σφαίρας ονομάζουμε τον μέγιστο κύκλο της, που ορίζεται από τον άξονα του κόσμου ΠΠ' και το αστέρι Σ ή το συγκεκριμένο σημείο της. Οι ισημερινές συντεταγμένες του άστρου Σ είναι η ωριαία γωνία Η = ΙΣο και η απόκλιση δ = ΣοΣ. Όπως ακριβώς στις οριζόντιες συντεταγμένες, η ωριαία γωνία Η του άστρου είναι η δίεδρη γωνία που ορίζεται από το επίπεδο του ωριαίου του νότου (ή του

www.ziaposbooks.gr

ουράνιου μεσημβρινού) και του ωριαίου κύκλου του άστρου ΠΣΠ'. Μετριέται πάνω στον ουράνιο ισημερινό με αρχή το σημείο Ι από 0° έως 360° κατά την ανάδρομη φορά.



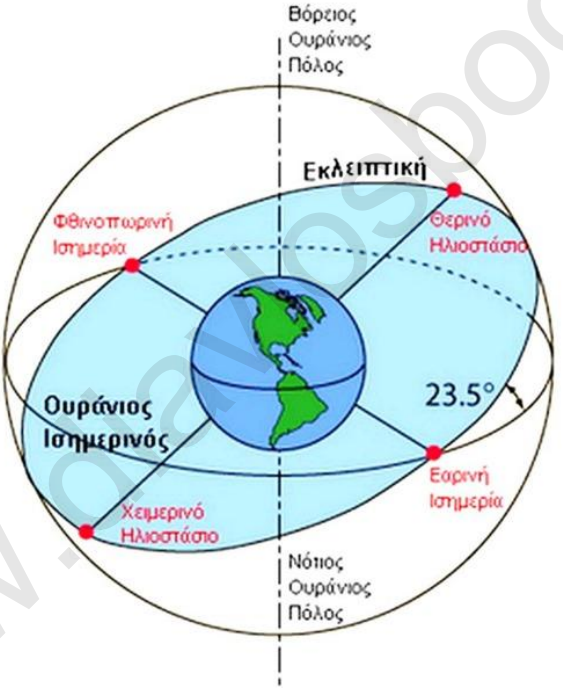
Ισημερινές συντεταγμένες Σ (Η,δ).

Η απόκλιση δ = ΣοΣ του αστεριού είναι η γωνιώδης απόστασή του από τον ουράνιο ισημερινό. Μετριέται πάνω στον ωριαίο κύκλο του άστρου ΠΣΠ' από 0° έως +90 μοίρες από τον ισημερινό προς τον βόρειο πόλο Π, και από 0° έως -90° προς τον νότιο πόλο Π' της

www.diavlosbooks.gr

ουράνιας σφαίρας. Η συμπληρωματική της απόκλισης γωνία P = 90°-δ ονομάζεται πολική απόσταση του άστρου και μετριέται πάνω στον ωριαίο κύκλο του άστρου, με αρχή τον βόρειο ουράνιο πόλο προς τον νότιο πόλο από 0° έως 180°. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται στις παρατηρήσεις με τηλεσκόπιο και στη μελέτη της κίνησης των ουρανίων σωμάτων σε σχέση με τον μεσημβρινό του παρατηρητή.

Εκλειπτική



Πάνω στην ουράνια σφαίρα ο Ηλιος φαίνεται να διαγράφει κατά τη διάρκεια ενός έτους έναν μέγιστο κύκλο που ονομάζεται εκλειπτική, από το γεγονός ότι οι εκλείψεις της Σελήνης συμβαίνουν κατά τις περιόδους που η τροχιά της τέμνει τον μέγιστο

www.diavlos.books.gr

αυτόν κύκλο. Τη ζώνη που εκτείνεται 8 μοίρες εκατέρωθεν της εκλειπτικής την ονομάζουμε ζωδιακή ζώνη, εφόσον μέσα στα όριά της βρίσκονται όλοι οι ζωδιακοί αστερισμοί· επίσης εντός αυτής κινούνται όλοι σχεδόν οι πλανήτες και η Σελήνη.

Τη ζωδιακή ζώνη τη χωρίζουμε σε 12 ίσα μέρη (δωδεκατημόρια) τα οποία η αστρολογία ονομάζει οίκους. Λόγω όμως του φαινομένου της μετάπτωσης του άξονα της Γης και των ισημερινών σημείων (σελ. 86), οι οίκοι μετατοπίζονται συνεχώς σε σχέση με τους ζωδιακούς αστερισμούς.

Ο Ήλιος κατά τη διάρκεια της ετήσιας πορείας του πάνω στην ουράνια σφαίρα φαίνεται να διέρχεται διαδοχικά από όλους τους οίκους που κατέχονται από τους ζωδιακούς αστερισμούς. Εκτός αυτού φαίνεται να μετακινείται, πάνω στην ουράνια σφαίρα, κατά μία περίπου μοίρα προς την ανατολή. Έτσι, αν μία ημέρα ο Ήλιος μεσουρανεί ταυτόχρονα με ένα άλλο αστέρι, στην επόμενη μεσουράνηση του άστρου ο Ήλιος θα βρίσκεται μία μοίρα ανατολικότερα. Αν λοιπόν, σήμερα, ο Ήλιος βρίσκεται στην περιοχή ενός συγκεκριμένου ζωδιακού αστερισμού, μετά από ένα μήνα θα προβάλλεται στην περιοχή κάποιου άλλου, που θα απέχει από τον πρώτο 30 περίπου μοίρες ανατολικότερα.

Ακολουθώντας αυτή την πορεία σήμερα ο Ήλιος μπαίνει στην περιοχή του ζωδιακού αστερισμού του Κριού στα τέλη Απριλίου και ανά μήνα περίπου συναντά τους υπόλοιπους. Όπως αναφέραμε, λόγω του φαινομένου της μετάπτωσης του άξονα της Γης (σελ. 86) οι θέσεις των δωδεκατημορίων μετατοπίζονται συνεχώς. Έτσι, την εποχή του Ιππάρχου (2ος π.Χ. αιώνας) ο αστερισμός του Κριού βρισκόταν στο πρώτο δωδεκατημόριο (0 - 30 μοίρες) του ζωδιακού κύκλου, ενώ σήμερα βρίσκεται στο τελευταίο (330 - 360 μοίρες). Παρατηρούμε, λοιπόν, μια μετατόπιση 30° ανατολικότερα, έτσι ώστε τη θέση που κατείχε επί Ιππάρχου ο Κριός σήμερα την καταλαμβάνει ο αστερισμός των Ιχθύων.

www.diavlos.gr

Η εκλειπτική σχηματίζει με τον ουράνιο ισημερινό γωνία ίση με ε = 23° 27', που λέγεται λόξωση της εκλειπτικής. Εάν δεν υπήρχε η κλίση αυτή και ο άξονας της Γης ήταν κάθετος στην εκλειπτική, τότε το κάθε γήινο ημισφαίριο θα δεχόταν κάθε ημέρα την ίδια ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας, και έτσι όλες οι μέρες και οι νύχτες θα ήταν ίσες μεταξύ τους, γεγονός που σήμερα συμβαίνει μόνο στις περιοχές του ισημερινού. Ενώ λοιπόν ο διαχωρισμός μέρας και νύχτας οφείλεται στην περιστροφική κίνηση της Γης γύρω από τον άξονά της, η ανισότητα της μέρας και της νύχτας οφείλεται στη θέση του επιπέδου της τροχιάς της Γης γύρω από τον Ήλιο. Γι' αυτό το καλοκαίρι οι μέρες είναι αρκετά μεγαλύτερες από τις νύχτες, ενώ το αντίθετο συμβαίνει τον χειμώνα. Στις πολικές περιοχές οι μέρες το καλοκαίρι γίνονται τόσο μεγάλες, που διαρκούν έξι μήνες. Έξι μήνες επίσης διαρκούν οι νύχτες του χειμώνα.

Ο ισημερινός και η εκλειπτική τέμνονται σε δύο αντιδιαμετρικά σημεία, τα γ και γ', που ονομάζονται ισημερινά σημεία. Το σημείο γ ονομάζεται εαρινό ισημερινό σημείο ή αναβιβάζων σύνδεσμος, διότι από αυτό περνάει ο Ήλιος στις 21 Μαρτίου, ανεβαίνοντας από το νότιο ημισφαίριο στο βόρειο, οριοθετώντας έτσι την έναρξη της εποχής της άνοιξης. Το σημείο γ' αντίθετα ονομάζεται φθινοπωρινό ισημερινό σημείο ή καταβιβάζων σύνδεσμος. Από το σημείο αυτό περνάει ο Ήλιος στις 22 Σεπτεμβρίου κατεβαίνοντας από το βόρειο στο νότιο ημισφαίριο. Όταν ο Ήλιος βρίσκεται στο γ', αρχίζει το φθινόπωρο. Κατά τις δύο αυτές ημερομηνίες (21 Μαρτίου και 22 Σεπτεμβρίου) έχουμε τις λεγόμενες ισημερίες. Τις ημέρες αυτές οι ακτίνες του Ήλιου είναι κάθετες στον ισημερινό και σε ολόκληρη τη Γη η διάρκεια της νύχτας είναι ίση με τη διάρκεια της μέρας. Μεταξύ των δύο αυτών ημερομηνιών στο βόρειο ημισφαίριο επικρατούν οι εποχές της άνοιξης και του καλοκαιριού, κατά τις οποίες οι μέρες είναι μεγαλύτερες από τις νύχτες. Το αντίθετο συμβαίνει στο νότιο ημισφαίριο.

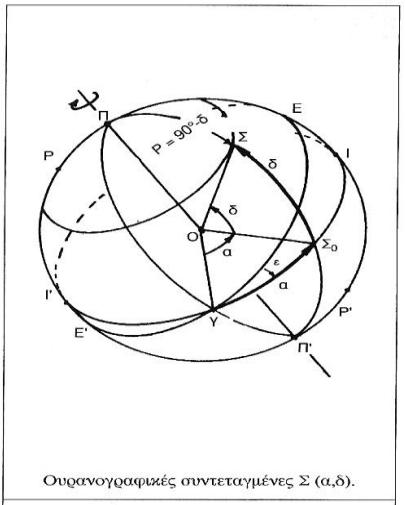
www.blogspot.gr

Τη διάμετρο γγ' της εκλειπτικής και της ουράνιας σφαίρας την ονομάζουμε γραμμή των ισημεριών ή ισημερινή γραμμή. Η διάμετρος ΕΕ' της εκλειπτικής που είναι κάθετη στη γραμμή των ισημεριών ονομάζεται γραμμή των τροπών ή γραμμή των ηλιοστασίων. Από τις 21 Μαρτίου, η μέρα προοδευτικά μεγαλώνει μέχρι τις 21 Ιουνίου. Τότε ο Ήλιος περνάει από το Ε και έχουμε τη μεγαλύτερη μέρα. Από το σημείο Ε' ο Ήλιος περνάει στις 22 Δεκεμβρίου και τότε παρατηρείται η μεγαλύτερη νύχτα. Τα αντίθετα ακριβώς συμβαίνουν στο νότιο ημισφαίριο της Γης. Στα σημεία Ε και Ε' η τροχιά του Ήλιου «τρέπεται», αλλάζει δηλαδή πορεία κατευθυνόμενη προς το άλλο ημισφαίριο. Για τον λόγο αυτό τα σημεία Ε και Ε' λέγονται θερινή και χειμερινή τροπή αντίστοιχα. Πολλές φορές όμως ονομάζουμε τα σημεία Ε και Ε' ηλιοστάσια, διότι στα σημεία αυτά ο Ήλιος φαίνεται σαν να στέκεται. Το Ε ονομάζεται θερινό ηλιοστάσιο και η απόκλιση του Ήλιου όταν περνάει από αυτό είναι + ε = + 23° 27'. Το Ε' ονομάζεται χειμερινό ηλιοστάσιο και παρουσιάζει απόκλιση - ε = - 23° 27'. Όταν ο Ήλιος βρίσκεται στα σημεία Ε και Ε' αρχίζει αντίστοιχα το καλοκαίρι και ο χειμώνας.

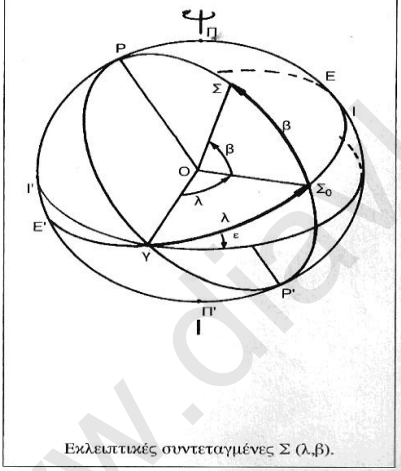
Σύστημα ουρανογραφικών συντεταγμένων Σ (α, δ)

Οι ουρανογραφικές συντεταγμένες είναι ένα σύστημα παρόμοιο με το σύστημα ισημερινών συντεταγμένων. Στο σύστημα αυτό βασικοί κύκλοι είναι ο ουράνιος ισημερινός και ο ωριαίος κύκλος του γ, δηλαδή ο μέγιστος κύκλος ΠγΠ' που περνάει από τους πόλους της ουράνιας σφαίρας και το εαρινό σημείο γ. Ειδικά ο ωριαίος κύκλος ΠγΠ'γ', που περνάει από τα ισημερινά σημεία, ονομάζεται κόλουρος των ισημεριών. Οι ουρανογραφικές συντεταγμένες ενός άστρου είναι η ορθή αναφορά α = γΣο και η απόκλιση δ = ΣοΣ. Η ορθή αναφορά α ενός άστρου είναι ουσιαστικά η δίεδρη γωνία που ορίζεται από τον ωριαίο κύκλο του γ και τον ωριαίο κύκλο του άστρου. Μετριέται πάνω στον

www.diavgeiakis.gr



Ουρανογραφικές συντεταγμένες Σ (α,δ).



Εκλειπτικές συντεταγμένες Σ (λ,β).

ισημερινό με αρχή το γ, κατά την ορθή φορά (αντίθετη της κίνησης των δεικτών του ρολογιού), από 0° έως 360° ή συνηθέστερα από 0 έως 24 ώρες. Η απόκλιση δ του άστρου έχει ήδη ορισθεί στις ισημερινές συντεταγμένες. Το σύστημα των ουρανογραφικών συντεταγμένων Σ (α,δ) είναι γενικά ανεξάρτητο από τον τόπο και τον χρόνο παρατήρησης των άστρων και χρησιμοποιείται για τη σύνταξη αστρικών καταλόγων και χαρτών.

Σύστημα εκλειπτικών συντεταγμένων Σ (λ,β)

Κύκλο πλάτους ενός άστρου ονομάζουμε τον μέγιστο κύκλο της ουράνιας σφαίρας που διέρχεται από το άστρο και από τους πόλους P και P' της εκλειπτικής. Στο σύστημα εκλειπτικών συντεταγμένων ως βασικοί μέγιστοι κύκλοι ορίζονται η εκλειπτική ΕγΕ'γ' και ο κύκλος πλάτους PγP' του σημείου γ.

Ως εκλειπτικές συντεταγμένες ορίζουμε:

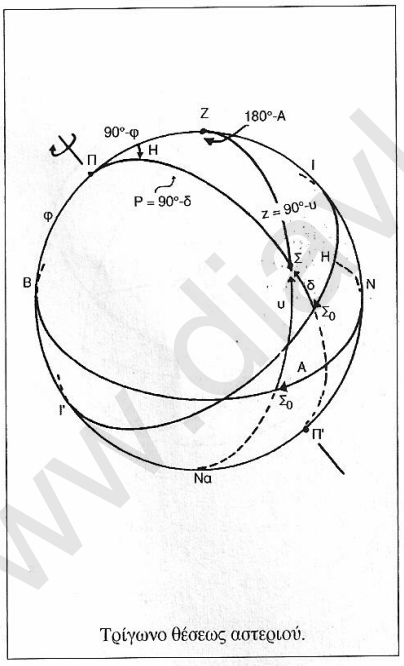
Το εκλειπτικό μήκος λ = γΣο, τη δίεδρη δηλαδή γωνία που ορίζεται από τον κύκλο πλάτους του γ και τον κύκλο πλάτους του άστρου.

www.diavlos.books.gr

Μετριέται πάνω στην εκλειπτική με αρχή το σημείο γ, κατά την ορθή φορά, από 0° έως 360°.
Το εκλειπτικό πλάτος β = ΣοΣ, τη γωνιώδη δηλαδή απόσταση του άστρου από την εκλειπτική. Μετριέται πάνω στον κύκλο πλάτους του άστρου από 0° έως +90°, από την εκλειπτική προς τον βόρειο πόλο της εκλειπτικής Ρ, και από 0° έως -90°, από την εκλειπτική προς τον νότιο πόλο Ρ' της εκλειπτικής.
Το σύστημα των εκλειπτικών συντεταγμένων χρησιμοποιείται κυρίως στην Ουράνια Μηχανική.

Μετατροπές αστρονομικών συντεταγμένων

Η μετάβαση από ένα σύστημα συντεταγμένων σε άλλο γίνεται με την εφαρμογή των τύπων της σφαιρικής τριγωνομετρίας σε αστρονομικά τρίγωνα θέσεως. Δύο από τους κυριότερους τύπους της σφαιρικής τριγωνομετρίας, που μπορούν να εφαρμοστούν στην επίλυση των προβλημάτων της σφαιρικής Αστρονομίας για ένα σφαιρικό τρίγωνο με γωνίες Α,Β,Γ και αντίστοιχες πλευρές α,β,γ, είναι:



Τρίγωνο θέσεως αστεριού.

1. Τύποι του ημιτόνου:
ημΑ/ημα = ημΒ/ημβ = ημΓ/ημγ
και
2. Τύπος του συνημιτόνου:
συνα = συνβ.συνγ+ημβ.ημγ.συνΑ κ.ο.κ.
Για το τρίγωνο θέσεως ΠΖΣ του άστρου Σ γνωρίζουμε ότι η

γωνία ΣΠΖ = Η και η ΠΖΣ = 180°-Α. Επίσης για τις πλευρές του έχουμε:

ΠΣ = Ρ = 90° - δ, ΠΖ = 90° - φ και ΖΣ = 90° - υ

Η γωνία ΖΣΠ = S λέγεται παραλλακτική γωνία του άστρου. Εφαρμόζοντας τους τύπους ημιτόνου και συνημιτόνου στο τρίγωνο θέσεως ΠΖΣ έχουμε:

ημ(180°-Α)/ημ(90°-δ) = ημΗ/ημΖ = ημS/ημ(90°-φ) =>

ημΑ/συνδ=ημΗ/ημΖ = ημS/συνφ

επίσης:

συνz=συνΡσυν(90°-φ) + ημΡημ(90°-φ)συνΗ =>

συνz=συν(90°-δ)ημφ + ημ(90°-δ)συνφσυνΗ =>

συνz=ημδημφ + συνδσυνφσυνΗ

Έτσι, από τα γνωστά, υπολογίζουμε και τα άγνωστα στοιχεία για το τρίγωνο θέσεως ΠΖΣ του άστρου Σ

www.diavlosbooks.gr

Παραρτημα IV
Σύνοψη των συστημάτων χρόνου*



*Βασική πηγή αυτού του κεφαλαίου είναι το βιβλίο των Μάνου Δανέζης και Στράτου Θεοδοσίου: *«Το Σύμπαν που αγάπησα – Εισαγωγή στην Αστροφυσική»*, Εκδόσεις Δίαυλος, Αθήνα 1998

www.diavlos.gr

Σύνοψη των συστημάτων χρόνου

Η γνώση της ώρας στην καθημερινή ζωή είναι μια απλούστατη διαδικασία. Δεν χρειάζεται παρά να κοιτάξουμε το ρολόι μας, και αυτό είναι όλο. Για τους αστρονόμους, όμως, η μέτρηση του χρόνου και η γνώση της ώρας είναι ένα ζήτημα αρκετά δύσκολο. Ο λόγος είναι ότι οι μονάδες μέτρησης του χρόνου —η ημέρα και οι υποδιαιρέσεις της: η ώρα, το πρώτο λεπτό και το δευτερόλεπτο— βασίζονται σε αστρονομικά φαινόμενα και είναι από τη φύση τους αρκετά πολύπλοκες.

Με τις παραδοχές όμως που ήδη αναφέραμε, οι πραγματικές δυσκολίες της μέτρησης του σχετικού χρόνου έχουν σχεδόν απαλειφθεί. Σήμερα υπάρχει ένα παγκόσμια αποδεκτό σύστημα μέτρησης του χρόνου, το οποίο ικανοποιεί τις ανθρώπινες σχέσεις και τις εργασιακές ανάγκες μας. Στις σελίδες αυτές θα συνοψίσουμε όλα τα συστήματα χρόνου που πρέπει να γνωρίζει ο μελετητής του ουρανού.

Αληθινός ηλιακός χρόνος

οαληθινός ηλιακός χρόνος ενοσ τόπου (Local Apparent Time, L.A.T.) εξαρτάται αποκλειστικά και μόνο από τον Ήλιο και είναι ο χρόνος που δείχνουν τα ηλιακά ρολόγια στον τόπο αυτό. Στην πραγματικότητα, το μεσημέρι —δηλαδή η άνω μεσουράνηση του Ήλιου, άσχετα με το τι δείχνουν τα ρολόγια μας— συμβαίνει ακριβώς τη χρονική στιγμή που ο Ήλιος περνά από τον μεσημβρινό του τόπου μας. Τότε βρίσκεται στο ψηλότερο σημείο της ημερήσιας τροχιάς του ως προς τον τόπο μας, δηλαδή στη μέση ακριβώς της χρονικής διάρκειας μεταξύ της ανατολής και της δύσης του.

Αληθινό ηλιακό χρόνο Α σε έναν τόπο, σε μια ορισμένη στιγμή, ονομάζουμε την ωριαία γωνία Η = tA του κέντρου του ηλιακού δίσκου στον ίδιο τόπο και την ίδια χρονική στιγμή. Αληθινό ηλιακό χρόνο δείχνουν τα ηλιακά ρολόγια. Από το 1925 καθορίστηκε

www.diavlosbooks.gr

διεθνώς ως αρχή μέτρησής του η κάτω μεσουράνηση του Ήλιου, και έτσι δίνεται από τη σχέση:
A = tA + 12 ώρες
Οι παρατηρητές και χρονομέτρες, όμως, παρατήρησαν ότι κάτι δεν πήγαινε καλά με τον αληθινό ηλιακό χρόνο. Ο Ήλιος μερικές φορές προπορεύεται 16 πρώτα λεπτά στην ημερήσια πορεία του πάνω στην ουράνια σφαίρα, ενώ άλλες φορές αργοπορεί κατά 14 πρώτα λεπτά, ανάλογα με την εποχή του έτους. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στην κλίση του άξονα της Γης και στην ελλειπτικότητα της τροχιάς της γύρω από τον Ήλιο. Για τον λόγο αυτό δημιουργήθηκε ένα απλούστερο σύστημα χρόνου: ο μέσος ηλιακός χρόνος.

Μέσος ηλιακός χρόνος

για την ευκολότερη μέτρηση του χρόνου, οι αστρονόμοι δημιούργησαν τον «μέσο Ήλιο». Ένα υποθετικό σημείο, το οποίο διατρέχει ομοιόμορφα τον ουράνιο ισημερινό σε αντίθεση με τον αληθινό Ήλιο, που κινείται ακανόνιστα πάνω στην εκλειπτική. Ο μέσος Ήλιος ορίστηκε έτσι ώστε η ορθή αναφορά του να ισούται με τη μέση ορθή αναφορά του αληθινού Ήλιου. Μέσο ηλιακό χρόνο M (solar mean time) ονομάζουμε την ωριαία γωνία H = tM του σημειακού μέσου Ήλιου.Ο μέσος ηλιακός χρόνος ονομάζεται και πολιτικός χρόνος. Αυτός δίνεται από τη σχέση:
M = tM + 12 ώρες
Ο αριθμός των πρώτων λεπτών κατά τα οποία ο αληθινός Ήλιος προπορεύεται ή αργοπορεί από τον μέσο Ήλιο ονομάστηκε εξίσωση χρόνου. Οι τιμές της διόρθωσης αυτής, γιατί ουσιαστικά για διόρθωση πρόκειται, δίνονται για οποιαδήποτε ημέρα του έτους από τις αστρονομικές Εφημερίδες. Αλλά και η διευθέτηση αυτή, όπως έδειξαν τα πράγματα, δεν είναι αρκετή.
Ένα σοβαρό πρόβλημα δημιουργήθηκε από το γεγονός της καμπυλότητας της Γης. Λόγω ακριβώς της καμπυλότητάς της, όταν ο Ήλιος ή κάποιο άστρο βρίσκεται στον μεσημβρινό του τόπου

www.diavlosbooks.gr

μας, είναι φανερό ότι δεν έχει φθάσει ακόμα στον μεσημβρινό κάποιου που ζει δυτικά μας, ενώ ήδη έχει διασχίσει τον μεσημβρινό κάποιου άλλου που ζει ανατολικά μας. Για βόρειο γεωγραφικό πλάτος φ = 40° η διαφορά αυτή ισούται με 1 πρώτο λεπτό για κάθε 28 περίπου χιλιόμετρα δυτικά ή ανατολικά μας.
Έτσι, όταν εμείς λέμε στον τόπο μας ότι έχουμε μερημέρι, δηλαδή 12:00, για κάποιον που ζει 28 km δυτικότερα η ώρα είναι 11:59, ενώ για κάποιον άλλο που ζει 28 km ανατολικότερα η ώρα είναι 12:01. Αυτό το γεγονός μάς υποχρεώνει να χρησιμοποιούμε Τοπικό Μέσο Χρόνο (Local Mean Time, L.M.T.), εφόσον ο μέσος χρόνος εξαρτάται κυρίως από την πόλη στην οποία ζούμε.

Χρόνος των ατράκτων

Οακριβής προσδιορισμός του μέσου χρόνου δημιουργούσε πολλά προβλήματα, εφόσον ήταν αναπόσπαστα συνδεδεμένος με τον τόπο από όπου μετριόταν. Έτσι στα 1884, μετά από το Διεθνές Συνέδριο της Ουάσιγκτον, η Γη χωρίστηκε θεωρητικά σε 24 ίσες σφαιρικές ατράκτους. Κάθε ωριαία άτρακτος έχει εύρος 15°, αφού 15° αντιστοιχούν σε χρόνο μίας ώρας. Σε κάθε τέτοια άτρακτο τα ρολόγια ρυθμίζονται στον τοπικό μέσο ηλιακό χρόνο του κεντρικού της μεσημβρινού, έτσι ώστε χρόνο ατράκτου (Standard Time, S.T.) να ονομάζουμε τον πολιτικό ή μέσο ηλιακό χρόνο του κεντρικού μεσημβρινού της ατράκτου.
Η καθιέρωση του χρόνου των ατράκτων έλυσε τα προβλήματα των κοινωνικών και εργασιακών υποχρεώσεων, όχι όμως και τα προβλήματα των παρατηρητών του ουρανού. Οι περιστροφικοί αστρικοί χάρτες, για παράδειγμα, εξακολουθούν να χρησιμοποιούν τον Τοπικό Μέσο Χρόνο (L.M.T.) του γεωγραφικού πλάτους για το οποίο έχουν κατασκευαστεί, και οι παρατηρητές υποχρεώνονται να κάνουν οι ίδιοι τις αντίστοιχες διορθώσεις. Ευτυχώς, η διόρθωση του Τοπικού Μέσου Χρόνου είναι απλή. Δηλαδή για κάθε μια μοίρα (1°) δυτικά από το καθορισμένο γεωγραφικό μήκος του

www.diavlosbooks.gr

κεντρικού μεσημβρινού της ατράκτου προσθέτουμε 4 πρώτα λεπτά στον Μέσο Τοπικό Χρόνο, για να βρούμε τον χρόνο της Ατράκτου (Standard Time). Στην αντίθετη περίπτωση, δηλαδή για κάθε μία μοίρα (1°) ανατολικά του, αφαιρούμε 4 πρώτα λεπτά σύμφωνα με τη σχέση:

Χρόνος ατράκτου (S.T.) = μέσος τοπικός χρόνος (L.M.T.) + διόρθωση

Η διόρθωση αυτή είναι θετική δυτικά του κεντρικού μεσημβρινού της ατράκτου και αρνητική ανατολικά από αυτόν.

Παγκόσμιος Χρόνος

Ο χρόνος ατράκτου λύνει το πρόβλημα, εφόσον κινούμεθα στα όρια μιας καθορισμένης ατράκτου 15°. Τι γίνεται, όμως, όταν θέλουμε να αναφερθούμε σε χρόνο μιας διαφορετικής ατράκτου ή σε έναν παγκόσμιο χρόνο; Από κάπου πρέπει να ξεκινήσουμε. Κάποιο δηλαδή πρέπει να είναι το σημείο αναφοράς μας.

Λογικά, η «παγκόσμια» ωριαία άτρακτος έπρεπε να βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος 0°. Με διεθνή απόφαση (1884), ο μεσημβρινός που περνά από το Παλαιό Αστεροσκοπείο του Greenwich στο Λονδίνο ορίστηκε ως μηδενικός. Έτσι ο Παγκόσμιος Χρόνος (U.T.) είναι αυτός που ονομάζουμε μέσο χρόνο στο Greenwich (Greenwich Mean Time, G.M.T.). Ένα από τα πρώτα πράγματα που πρέπει να γνωρίζουμε είναι η διαδικασία μετατροπής του παγκόσμιου χρόνου σε χρόνο ατράκτου.

Είναι κι αυτό πολύ απλό, αν ορίσουμε ως επίσημη ώρα (Ε) μιας χώρας τον μέσο ηλιακό χρόνο του κεντρικού μεσημβρινού της ατράκτου στην οποία ανήκει. Συνήθως, η επίσημη ώρα αντιστοιχεί στην ώρα της πρωτεύουσάς της. Σ' αυτή την περίπτωση εφαρμόζουμε τη σχέση:

U.T. = E + ν

όπου: ν = ο αριθμός των ατράκτων, θετικός δυτικά και αρνητικός ανατολικά του Greenwich. Συνεπώς για την Ελλάδα: ν = - 2. Για να

www.braillebooks.gr

βρούμε λοιπόν την επίσημη ώρα οποιασδήποτε ξένης πρωτεύουσας ή μεγάλης πόλης από την αντίστοιχη επίσημη ώρα της Αθήνας, προσθέτουμε τον αριθμό της ατράκτου στην οποία ανήκει η πόλη αυτή στην ώρα της Αθήνας και από το άθροισμα αφαιρούμε 2 ώρες. Έτσι όταν στην Αθήνα είναι 12 η ώρα το μεσημέρι:
α) στο Λονδίνο, για το οποίο επίσημη ώρα είναι ο παγκόσμιος χρόνος U.T. και συνεπώς ανήκει στη μηδενική άτρακτο, έχουμε:
12 + 0 - 2 = 10 π.μ.
β) Αν αντίστοιχα το άθροισμα είναι μεγαλύτερο από 24 ώρες, αφαιρούμε 24 ώρες. Έτσι στη Νέα Υόρκη, που ανήκει στην 19η άτρακτο, η αντίστοιχη επίσημη ώρα θα είναι:
12 + 19 - 2 = 29 - 24 = 5 π.μ.

Μέσος ηλιακός αστρονομικός χρόνος στο Greenwich

Μέχρι την 1η Ιανουαρίου 1925, ο μέσος ηλιακός χρόνος υπολογιζόταν με αρχή τη μέση μεσημβρία στον μεσημβρινό του Greenwich και ήταν γνωστός ως μέσος ηλιακός χρόνος στο Greenwich (Greenwich Mean Time, G.M.T.) ή ως Παγκόσμιος Χρόνος (Universal Time, U.T.). Ο μέσος ηλιακός χρόνος στο Greenwich (G.M.T.), δηλαδή ο πολιτικός ηλιακός χρόνος στον μεσημβρινό του Greenwich, ήταν ταυτόχρονα ο τοπικός χρόνος της Μεγάλης Βρετανίας, όπως και ολόκληρης της μηδενικής ωριαίας ατράκτου. Από την 1η Ιανουαρίου 1925, όμως, μετά από διεθνή συμφωνία, χρησιμοποιείται ο μέσος ηλιακός αστρονομικός χρόνος στο Greenwich (Greenwich Mean Astronomical Time, G.M.A.T.), που έχει αφετηρία το μέσο μεσονύκτιο στο Greenwich, ώστε να ισχύει:
G.M.A.T. = G.M.T. - 12 ώρες ή G.M.A.T. = U.T. - 12 ώρες.
Από την 1η Ιανουαρίου του 1925 ως παγκόσμιος χρόνος θεωρείται ο G.M.A.T.
Πάντως, μέχρι σήμερα υπάρχει κάποια σύγχυση στον ορισμό του παγκόσμιου χρόνου, εφόσον σε πολλά ναυτικά και αστρονομικά

www.diavlosbooks.gr

εγχειρίδια δεν αναφέρεται ο μέσος ηλιακός αστρονομικός χρόνος (G.M.A.T.), αλλά μόνο ο μέσος ηλιακός χρόνος στο Greenwich (G.M.T.) που θεωρείται όμως ότι αρχίζει από το μέσο μεσονύκτιο στο Greenwich. Πρέπει να σημειώσουμε ότι πολλοί ερευνητές αστρονόμοι, παρατηρητές μεταβλητών και διπλών συστημάτων άστρων, υπολογίζουν μέχρι σήμερα την αρχή της ημέρας με αφετηρία τη μέση μεσημβρία στο Greenwich (Ιουλιανές ημέρες, Julian days), αντί να λαμβάνουν ως αφετηρία της το μέσο μεσονύκτιο στο Greenwich. Μ' αυτόν τον τρόπο όμως αποφεύγουν την αλλαγή της ημερομηνίας κατά τη διάρκεια της νύχτας, κατά την οποία εκτελούν τις παρατηρήσεις τους.

Χρόνος των Εφημερίδων

Ο μόνος ομαλός χρόνος που υπολογίζεται με αστρονομικές μεθόδους είναι ο χρόνος των εφημερίδων (Ephemeris Time, E.T.) ή δυναμικός χρόνος (Dynamical Time, D.T.). Ο χρόνος αυτός ορίστηκε από την εφαρμογή του νόμου του Νεύτωνα στην Ουράνια Μηχανική (γι' αυτό καλείται και Νευτώνειος χρόνος), αλλά χρησιμοποιείται και σε γενικότερα κοσμολογικά προβλήματα. γύρω στο έτος 1902, ο παγκόσμιος χρόνος U.T. ταυτιζόταν με τον χρόνο Εφημερίδων E.T. Το 1984 ο E.T. αντικαταστάθηκε από τον γήινο δυναμικό χρόνο (Terrestrial Dynamical Time, T.D.T.) και τον βαρυκεντρικό δυναμικό χρόνο (Barycentric Dynamical Time, T.D.B.).

Για απλές εφαρμογές ερασιτεχνών αστρονόμων και χρονομετρών όλοι αυτοί οι χρόνοι μπορούν να θεωρηθούν ταυτόσημοι, αφού οι διαφορές τους είναι της τάξεως του χιλιοστού του δευτερολέπτου. Εάν δίνεται ο χρόνος σε E.T. και η επιθυμητή ακρίβεια είναι της τάξεως του λεπτού, απαιτείται η γνώση της διαφοράς του (ΔT) από τον U.T. ή ακριβέστερα από τον ημιομαλό χρόνο U.T.2. Είναι σχεδόν αδύνατο να υπολογίσουμε επακριβώς τη διαφορά ΔT, επειδή ακόμα και σήμερα η ακριβής περιστροφή της Γης είναι

www.diavlosbooks.gr

ουσιαστικά ανεξακρίβωτη. Οι αστρονομικές Εφημερίδες μάς δίνουν προσεγγιστικά τη διαφορά ΔΤ = E.T. - U.T.2. Η ΔΤ δίνεται στην αρχή της Astronomical Ephemeris ανά μήνα και για ένα έτος. Κατά τη διάρκεια ενός και του αυτού μηνός έχει κατά προσέγγιση την ίδια τιμή. Το Astronomical Almanac υπολόγισε τη ΔΤ ίση με 56,3 δευτερόλεπτα για την αρχή του 1989, ενώ για την αρχή του 1990 τη θεωρούσε ίση με 56,7 δευτερόλεπτα.

Ατομικός Χρόνος

Οι αστρονόμοι και ο πολιτισμός μας γενικότερα χρειάζονται ένα ομαλά ρέον σύστημα χρόνου όπως είναι ο χρόνος των Εφημερίδων. Αλλά η ανθρωπότητα είναι επίσης δεμένη με τον φυσικό κύκλο της ημέρας, όσο κι αν η μεταβολή της δεν είναι σταθερή. Τι έπρεπε λοιπόν να γίνει;

Μέρος της λύσης ήταν να ξαναοριστεί η κύρια χρονική μονάδα, το δευτερόλεπτο. Αυτό δεν είναι πια το 1/86.400 μιας μέσης ηλιακής ημέρας, όπως το είχαν ορίσει οι Γάλλοι εγκυκλοπαιδιστές, ούτε το1/31.556.925,9747 της διάρκειας του τροπικού έτους του 1900 μ.Χ. Έτσι ορίστηκε το ατομικό δευτερόλεπτο, το οποίο είναι η διάρκεια 9.192.631.770 περιόδων της ακτινοβολίας υπέρλεπτης μετάπτωσης της θεμελιώδους κατάστασης του ισοτόπου του καισίου-133. Ο χρόνος που ορίζεται με βάση το ατομικό δευτερόλεπτο ονομάζεται Ατομικός Χρόνος (Atomic Time, A.T.). Από την 1η Ιανουαρίου 1972 τα Γραφεία Ώρας εκπέμπουν ατομικό χρόνο.

Συντονισμένος Παγκόσμιος Χρόνος

Αφού το δευτερόλεπτο δεν ορίζεται στην εποχή μας αστρονομικά, η Γη μπορεί πια να περιστρέφεται κατά την προαιώνια πορεία της όπως ακριβώς της αρέσει, χωρίς να δημιουργεί προβλήματα στα ρολόγια του κόσμου. Όμως ένα επιπλέον πρόβλημα έπρεπε να αντιμετωπισθεί. Μία ημέρα δεν έχει ακριβώς 24 ώρες. Το 1983 η

www.ziziosbooks.gr

διάρκεια της ημέρας υπολογίστηκε ίση με 24,00000063 ώρες, ενώ το 1986 η διάρκειά της ήταν αντίστοιχα 24,00000034 ώρες. Για να διατηρήσουμε την αντιστοιχία των χρονομέτρων μας με τον χρόνο περιστροφής της Γης, θεσπίστηκε πρόσφατα το δίσεκτο δευτερόλεπτο ως διόρθωση στον παγκόσμιο χρόνο U.T.
Ανά έτος προστίθεται ένα «δίσεκτο δευτερόλεπτο» στο τέλος της 30ης Ιουνίου ή της 31ης Δεκεμβρίου U.T., δίνοντας στο τελευταίο λεπτό της αντίστοιχης ημέρας διάρκεια όχι πια 60, αλλά 61 δευτερολέπτων. Έτσι δημιουργήθηκε ο συντονισμένος παγκόσμιος χρόνος (Coordinated Universal Time, U.T.C.), σύμφωνα με τον οποίο ρυθμίζονται πλέον όλα τα ρολόγια του κόσμου. Ο U.T.C. είναι τώρα η βάση για όλα τα σήματα χρόνου που δίνονται από τις υπηρεσίες χρόνου και από το ραδιόφωνο. Μερικές φορές καλείται World Time, Z time ή Zulu, όπως συχνά αναφέρεται στις αεροπορικές επικοινωνίες. Τα σήματα χρόνου εκπέμπονται από το εργαστήριο Bagneux του Bureau International de l' Heure.

Αστρικός Χρόνος

Τελευταίο αφήσαμε τον αστρικό χρόνο (Sideral Time), αφού δεν σχετίζεται με τη φαινόμενη κίνηση του Ήλιου ή την περιστροφή της Γης. Είναι απλώς η ορθή αναφορά των άστρων στον μεσημβρινό του τόπου μας σε οποιαδήποτε στιγμή. Ο αστρικός χρόνος προπορεύεται περίπου 4 πρώτα λεπτά την ημέρα από όλα τα συστήματα χρόνου που προηγουμένως αναφέραμε.
Μετριέται από τα αστρικά χρονόμετρα, δίνοντας έτσι τον Τοπικό Αστρικό Χρόνο (Local Sidereal Time) και χρησιμοποιείται για να βρίσκουμε ποιοι επακριβώς αστερισμοί μεσουρανούν και ποιον αστρικό χάρτη πρέπει να χρησιμοποιήσουμε. Για παράδειγμα, αν το αστρικό χρονόμετρο δείχνει 22:30 μ.μ, η ορθή αναφορά στον μεσημβρινό μας είναι 22ω 30λ. Μπορούμε λοιπόν να βρούμε το άστρο ή τον αστερισμό που εκείνη ακριβώς τη στιγμή μεσουρανεί. Η σχέση μεταξύ αστρικού και μέσου χρόνου είναι:

24* ώρες αστρικού χρόνου = 23 ώρες 56 λεπτά 4,09058 δευτερόλεπτα μέσου χρόνου.
Δηλαδή:
1* αστρική ώρα = 0,997269567 μέσες ώρες.
Μ' αυτές τις σχέσεις γίνονται και οι αντίστοιχες μετατροπές.

www.diavlosbooks.gr