

ΜΑΘΗΜΑΤΑ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

ΑΠΟΣΤΟΛΟΥ ΑΘ. ΦΛΟΚΑ
ΚΑΘΗΓΗΤΗ Α.Π.Θ.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το βιβλίο αυτό καλύπτει την ύλη του μαθήματος «ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ» που περιλαμβάνεται στο πρόγραμμα σπουδών του Τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος του Α.Π.Θ. Αν και απευθύνεται, κυρίως, στους φοιτητές του παραπάνω Τμήματος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και από τους φοιτητές άλλων Τμημάτων των Θετικών και Γεωτεχνικών Επιστημών. Γράφτηκε με απλό τρόπο, για να μπορεί εύκολα να διαβαστεί και κατανοηθεί πλήρως από τους φοιτητές και, γενικά, από κάθε αναγνώστη που ενδιαφέρεται για διάφορα μετεωρολογικά και κλιματολογικά θέματα.

Για μια πληρέστερη σφαιρική εικόνα του μαθήματος και στα πλαίσια πάντοτε των δυνατοτήτων των προπτυχιακών σπουδών, η ύλη του βιβλίου αυτού έχει διαμορφωθεί κατά τρόπο που να παρέχει τη δυνατότητα μιας εποικοδομητικής συζήτησης ανάμεσα στο διδάσκοντα και στους διδασκόμενους. Και αυτό, γιατί, με τη συζήτηση και την ανταλλαγή χρήσιμων απόψεων, ο φοιτητής –ο αυριανός επιστήμονας– μπορεί να γνωρίζει τον τρόπο σκέψης και δράσης του στο χώρο της έρευνας και των εφαρμογών.

Ολόκληρη η ύλη του βιβλίου, προκειμένου να καλύψει ένα ευρύ φάσμα σχετικών θεμάτων και να εξασφαλίσει την απαιτούμενη διδακτική τους συνοχή, έχει χωρισθεί σε δεκατρία κεφάλαια. Το κλίμα της Ελλάδας, που μας ενδιαφέρει ιδιαίτερα, περιγράφεται συνοπτικά στο ενδέκατο κεφάλαιο. Στο δωδέκατο κεφάλαιο περιγράφονται οι αρχές λειτουργίας των σπουδαιότερων μετεωρολογικών οργάνων με ένα μεγάλο πλήθος φωτογραφιών τους, καθώς και οι μέθοδοι αναγωγής και υπολογισμού διαφόρων μετεωρολογικών παραμέτρων. Τέλος, στο 13ο κεφάλαιο δίνεται μια σειρά ασκήσεων, που κρίνονται απαραίτητες για μια σωστότερη κατανόηση των μετεωρολογικών και κλιματολογικών θεμάτων, και γενικότερα, για μια καλύτερη εμπέδωση της ύλης.

Θέλω να πιστεύω ότι το βιβλίο θα δώσει το απαραίτητο υπόβαθρο γνώσεων στους φοιτητές εκείνους, οι οποίοι πρόκειται, μελλοντικά, ν' ασχοληθούν με οποιοδήποτε εξειδικευμένο επιστημονικό κλάδο, σχετιζόμενο με τη Μετεωρολογία και την Κλιματολογία.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1. Γενικά - ορισμοί.	11
2. Ιστορική εξέλιξη της μετεωρολογίας και κλιματολογίας	14
3. Σκοπός της μετεωρολογίας και κλιματολογίας	17
4. Κλάδοι της μετεωρολογίας και κλιματολογίας	18
 Κεφάλαιο 1. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ	23
1.1. Προέλευση και εξέλιξη της ατμόσφαιρας	23
1.2. Το ύψος της γήινης ατμόσφαιρας	26
1.3. Ατμοσφαιρική μάζα	31
1.4. Σύνθεση της κατώτερης ατμόσφαιρας	32
1.5. Κατακόρυφη διαίρεση της ατμόσφαιρας με βάση τη μεταβολή της θερμοκρασίας	46
1.6. Μελέτη της μεταβολής με το ύψος διαφόρων μετεωρολογικών παραμέτρων	54
1.7. Ατμοσφαιρικά μοντέλα	61
 Κεφάλαιο 2. Η ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ	65
2.1. Γενικά - ορισμοί	65
2.2. Νόμοι της ακτινοβολίας	70
2.3. Ηλιακή ακτινοβολία	72
2.3.1. Γενικά	72
2.3.2. Χαρακτηριστικά στοιχεία του ήλιου	73
2.3.3. Η φύση της ηλιακής ακτινοβολίας	75
2.3.5. Η ηλιακή ακτινοβολία στη γήινη ατμόσφαιρα	78
2.3.6. Η εξασθένηση της ηλιακής ακτινοβολίας στη γήινη ατμόσφαιρα	79
2.3.7. Η ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης	84
2.4. Γήινη ακτινοβολία	92
2.4.1. Γενικά	92
2.4.2. Απορρόφηση της γήινης ακτινοβολίας	93
2.4.3. Το φαινόμενο του ατμοσφαιρικού θερμοκηπίου	94
2.5. Ολική ηλιακή ακτινοβολία. Ετήσια πορεία της και γεωγραφική κατανομή πάνω στην επιφάνεια της γης	97
2.6. Γεωγραφική κατανομή της ετήσιας ολικής ηλιακής ακτινοβολίας πάνω από την ελληνική περιοχή	100
2.7. Μέσο ενεργειακό ισοζύγιο	103
2.8. Ισοζύγιο ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης	107
2.9. Ηλιοφάνεια	108

Κεφάλαιο 3. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΑΕΡΑ	113
3.1. Γενικά	113
3.2. Θερμοκρασία του αέρα	116
3.3. Περιοδικές μεταβολές της θερμοκρασίας του αέρα	120
3.3.1. Η ημερήσια μεταβολή	120
3.3.2. Η ετήσια πορεία της θερμοκρασίας του αέρα (ΕΠΘ)	123
3.4. Ημερήσιο (ΗΘΕ) και ετήσιο (ΕΘΕ) θερμομετρικό εύρος	124
3.5. Αναστροφές της θερμοκρασίας του αέρα	126
3.6. Διανομή της θερμοκρασίας του αέρα πάνω στην επιφάνεια της γης	128
3.7. Διανομή της θερμοκρασίας του αέρα στην ελληνική περιοχή	131
3.8. Άκρες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα στον πλανήτη	134
Κεφάλαιο 4. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ	139
4.1. Γενικά	139
4.2. Θερμοκρασία επιφάνειας και βάθους εδάφους	139
4.3. Ημερήσιες και ετήσιες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας εδάφους	144
Κεφάλαιο 5. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ, ΩΚΕΑΝΩΝ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΩΝ ...	150
5.1. Θερμοκρασία πηγών, ποταμών και λιμνών	150
5.2. Θερμοκρασία των ωκεανών και θαλασσών	152
Κεφάλαιο 6. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ	156
6.1. Γενικά	156
6.2. Μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης	157
6.3. Ισοβαρείς καμπύλες και κύριες μορφές τους	160
6.4. Βαροβαθμίδα	162
6.5. Βαρομετρική τάση	163
6.6. Γεωγραφική κατανομή της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια της γης	163
6.7. Κατανομή της ατμοσφαιρικής πίεσης πάνω από την ελληνική περιοχή ..	166
Κεφάλαιο 7. ΑΝΕΜΟΣ	170
7.1. Γενικά	170
7.2. Γεωστροφικός άνεμος	171
7.3. Άνεμος βαροβαθμίδας	172
7.4. Επίδραση της τριβής - νόμος του Buys-Ballot	173
7.5. Ο άνεμος στα επιφανειακά στρώματα	175
7.6. Εποχιακοί άνεμοι ή μουσσόνες	179
7.7. Ημερήσιοι άνεμοι	180
7.8. Τοπικοί άνεμοι	183
Κεφάλαιο 8. ΤΟ ΝΕΡΟ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ	189
8.1. Γενικά	189
8.2. Υγρασία του αέρα	189
8.2.1. Υγρομετρικές παράμετροι	189
8.2.2. Ημερήσια και ετήσια πορεία της υγρασίας	196

8.2.3. Γεωγραφική κατανομή των υδρατμών στην ατμόσφαιρα	199
8.2.4. Κατανομή της υγρασίας στην ελληνική περιοχή	200
8.3. Εξάτμιση	202
8.3.1. Γενικά	202
8.3.2. Ημερήσια και ετήσια μεταβολή της εξάτμισης	206
8.3.3. Εξάτμιση από διάφορες εδαφικές επιφάνειες	208
8.4. Εξατμισοδιαπνοή	211
8.4.1. Γενικά	211
8.4.2. Παράγοντας που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή	211
8.5. Μέθοδοι μέτρησης της εξάτμισης και της εξατμισοδιαπνοής	216
8.5.1. Υπολογισμός της εξάτμισης από φυσικές και τεχνητές υδροσυλ- λογές	220
8.5.2. Υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής	224
8.6. Νέφη - νέφωση	224
8.6.1. Γενικά	225
8.6.2. Ταξινόμηση των νεφών	230
8.6.3. Νέφωση	234
8.7. Συμπυκνώσεις μικρής κλίμακας	242
8.8. Υδατώδη ατμοσφαιρικά αποβλήματα	244
8.8.1. Βροχή	257
8.8.2. Το χιόνι	259
8.8.3. Το χαλάζι	261
8.8.4. Η χιονοχάλαζα	262
Κεφάλαιο 9. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΡΑΞΕΙΣ	262
9.1. Αέριες μάζες	262
9.2. Μετωπικές επιφάνειες και μέτωπα	268
9.3. Είδη μετώπων	270
9.3.1. Θερμά μέτωπα	270
9.3.2. Ψυχρά μέτωπα	271
9.3.3. Στάσιμα μέτωπα	273
9.3.4. Συνεσφιγμένα μέτωπα	274
9.4. Υφέσεις	275
9.4.1. Μετωπικές υφέσεις	276
9.4.2. Θερμικές υφέσεις	282
9.4.3. Ορογραφικές υφέσεις	283
9.5. Αντικυκλώνες	284
9.6. Τροπικοί κυκλώνες	287
9.7. Καταιγίδες	291
9.8. Σιφώνες ξηράς και θάλασσας	296
Κεφάλαιο 10. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΓΗΣ	300
10.1. Γενικά	300
10.2. Κλιματικές κατατάξεις	302
10.2.1. Κλιματική κατάταξη κατά Köppen	302
10.2.2. Κλιματική κατάταξη κατά Thornthwaite	311
10.2.3. Βιοκλιματικές κατατάξεις	315
10.3. Κλιματικές περιοχές της Γης	323
10.3.1. Τα πολιτικά κλίματα	324

10.3.2. Ορεινά κλίματα	325
10.3.3. Κλίματα Τούντρας	326
10.3.4. Κλίματα Τάιγκας	328
10.3.5. Υγρά ηπειρωτικά κλίματα	329
10.3.6. Θαλάσσια ή ωκεάνια κλίματα	331
10.3.7. Κλίματα ξηρού θέρους υποτροπικά ή Μεσογειακά	334
10.3.8. Ερημικά ή στεππώδη κλίματα	338
10.3.9. Υγρά-ξηρά Τροπικά κλίματα	339
10.3.10. Μουσσωνικά κλίματα	340
10.3.11. Βροχερά τροπικά κλίματα	341
Κεφάλαιο 11. ΤΟ ΚΛΙΜΑΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	343
11.1. Γενικά	343
11.2. Μετεωρολογικά και κλιματικά στοιχεία	345
11.2.1. Ατμοσφαιρική πίεση-αέριες μάζες-άνεμοι	346
11.2.2. Θαλάσσια ρεύματα	359
11.2.3. Νέφωση-Ομίχλη-Διάρκεια ηλιοφάνειας	363
11.2.4. Θερμοκρασία του αέρα και των επιφανειακών υδάτων των ελληνικών θαλασσών	364
11.2.5. Βροχή και χιόνι	371
11.3. Κατάταξη του κλίματος της Ελλάδας	373
11.3.1. Κλιματικές περιοχές	373
11.3.2. Νεώτερη κατάταξη του κλίματος	378
Κεφάλαιο 12. ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ, ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΓΩΓΗΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ	381
12.1. Μετεωρολογικά όργανα	381
12.2. Μετεωρολογικοί σταθμοί επιφάνειας εδάφους	382
12.3. Μετεωρολογικός κλωβός	383
12.4. Γενική περιγραφή των κυριότερων μετεωρολογικών οργάνων	384
12.4.1. Μετεωρολογικά θερμόμετρα	384
12.4.2. Προσδιορισμός της θερμοκρασίας του εδάφους	387
12.4.3. Προσδιορισμός της θερμοκρασίας των υδάτων	389
12.4.4. Προσδιορισμός της υγρασίας του αέρα	389
12.4.5. Μέτρηση της εξάτμισης και εξατμισοδιαπνοής	394
12.4.6. Όργανα μέτρησης της ηλιοφάνειας και της ακτινοβολίας	398
12.4.7. Όργανα μέτρησης της ατμοσφαιρικής πίεσης	401
12.4.8. Όργανα προσδιορισμού της διεύθυνσης και ταχύτητας του ανέμου	404
12.4.9. Μέτρηση ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων	406
12.5. Σύμβολα καιρού	409
12.6. Μετεωρολογικοί πίνακες	412
Κεφάλαιο 13. ΛΥΜΕΝΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ	429
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	463

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. ΓΕΝΙΚΑ - ΟΡΙΣΜΟΙ

Ατμόσφαιρα ονομάζεται το αεριώδες τμήμα του πλανήτη μας που τον περιβάλλει και τον ακολουθεί στο σύνολο των κινήσεών του. Στη θέση του αεριώδους αυτού περιβλήματος του πλανήτη-γη αναπτύσσεται, ζει και κινείται ο άνθρωπος. Η ατμόσφαιρα είναι αόρατη, άοσμη και παρουσιάζει ένα πλήθος ιδιοτήτων που αποτελούν τις συνθήκες του άμεσου περιβάλλοντος των ζωικών και φυτικών οργανισμών του πλανήτη μας. Καθένα από τα δύο τμήματα του πλανήτη μας (αεριώδες, στερεό) έχει τη δική του ταχύτητα περιστροφής που, κατά κανόνα, δεν είναι ίσες. Οι ταχύτητες αυτές δεν συμπίπτουν συνεχώς. Στην περίπτωση που συμβεί η ατμόσφαιρα ν' απορροφήσει μεγαλύτερα ποσά ενέργειας απ' ό,τι το στερεό τμήμα, τότε αυτή αποκτά μεγαλύτερη ταχύτητα περιστροφής και το στερεό τμήμα ενεργεί σαν ένας απορροφητής ενέργειας με αποτέλεσμα την εξίσωση των δύο ταχυτήτων περιστροφής. Είναι όμως δυνατό, το στερεό τμήμα του πλανήτη μας να αποκτήσει ταχύτητα μεγαλύτερη, οπότε και πάλι ενεργεί παρόμοιος μηχανισμός εξίσωσης των δύο ταχυτήτων περιστροφής.

Σαν αποτέλεσμα πολύπλοκων διεργασιών, μέσα στην ατμόσφαιρα παρατηρούνται μετατροπές τόσο της ηλιακής όσο και της γήινης ακτινοβολίας σ' άλλες μορφές ενέργειας (π.χ. θερμότητα, κινητική ενέργεια κλπ.). Μ' άλλα λόγια η ατμόσφαιρα μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα κέντρο θερμοδυναμικών και μηχανικών λειτουργιών που είναι υπεύθυνες δημιουργίας διαφόρων φαινομένων. Τα φαινόμενα αυτά που συμβαίνουν μέσα στην ατμόσφαιρα και γίνονται αντιληπτά από τον άνθρωπο είτε άμεσα είτε έμμεσα με τη μεσολάβηση οργάνων λέγονται **μετεωρολογικά φαινόμενα**.

Η ακριβολογική έκφραση ενός μετεωρολογικού φαινομένου ονομάζεται **μετεωρολογικό στοιχείο**. Π.χ. η βροχή είναι ένα μετεωρολογικό φαινόμενο, ενώ η έκφραση 20 χιλιοστά βροχής αποτελεί ένα μετεωρολογικό στοιχείο. Τα μετεωρολογικά στοιχεία διακρίνονται σε **μόνιμα** (π.χ. θερμοκρασία, υγρασία, ατμοσφαιρική πίεση, χρώμα του ουρανού κλπ.) που παρουσιάζονται πάντοτε με μια τιμή και σ' **έκτακτα** που η εμφάνισή τους χαρακτηρίζεται συμπτωματική.

Η ατμόσφαιρα παρουσιάζεται με συνεχώς εναλλασσόμενες καταστάσεις. Τα αποτελέσματα των διαφόρων αυτών καταστάσεων αποδίδονται με την έκφραση **«καιρικές καταστάσεις»**.

Η επιστήμη που εξετάζει την ατμόσφαιρα, και τα φαινόμενα (μετεωρολογικά) που συμβαίνουν μέσα σ' αυτή, λέγεται **Μετεωρολογία**. Η Μετεωρολογία χρησιμοποιεί εξειδικευμένα όργανα φυσικής για τη μέτρηση των διαφόρων μετεωρολογικών στοιχείων ή παραμέτρων και εφαρμόζει τους νόμους της φυσικής. Διαφέρει όμως από την κλασική φυσική των εργαστηρίων σ' ό,τι αφορά την τάξη μεγέθους του εργαστηρίου. Στη Μετεωρολογία το σύνολο της ατμόσφαιρας θεωρείται το εργαστήριο, χωρίς το πείραμα να μπορεί, τουλάχιστο μέχρι σήμερα, να ελεγχθεί από τον άνθρωπο.

Η κατάσταση της ατμόσφαιρας πάνω από μια περιοχή για μια ορισμένη χρονική στιγμή, συμπεριλαμβανομένης και της εξέλιξης αυτής της κατάστασης από τη γένεση ως το τέλος των συγκεκριμένων ατμοσφαιρικών διαταραχών, ονομάζεται **καιρός**.

Η κατανομή του καιρού πάνω στην επιφάνεια της Γης σε μια δοσμένη χρονική στιγμή μπορεί να δώσει μια μεγάλη ποικιλία καιρικών καταστάσεων και συνεπώς έχει πάρα πολύ μεγάλη γεωγραφική σημασία. Στην πράξη, ο καιρός αντιπροσωπεύει, συνήθως, την από μέρα σε μέρα κατάσταση της ατμόσφαιρας και αναφέρεται σε μεταβολές μικρής διάρκειας στις συνθήκες της θερμότητας, της υγρασίας και της κίνησης του αέρα. Ο καιρός οφείλεται, κατά κύριο λόγο, στις διεργασίες που συντελούν στην εξισορρόπηση των διαφορών που εμφανίζονται από ανισοκατανομή της ηλιακής ενέργειας πάνω στην επιφάνεια του πλανήτη.

Η μέση καιρική κατάσταση, δηλαδή η σύνθεση του καιρού για μια μεγάλη χρονική περίοδο που είναι απαραίτητη για την απαλοιφή των σφαλμάτων και την εδραίωση στατιστικών παραμέτρων, λέγεται **κλίμα**. Αυτό είναι δυνατό να θεωρηθεί κάτι παραπάνω από το μέσο και περιλαμβάνει το σύνολο των ατμοσφαιρικών συνθηκών που περικλείουν τη θερμότητα, την υγρασία και την κίνηση του αέρα σε μεγάλες χρονικές περιόδους. Ακόμη, με το κλίμα μελετιούνται οι περιπτώσεις ακραίων καταστάσεων, οι τάσεις της μεταβολής των κλιματικών παραμέτρων, οι τιμές πιθανότητας να συμβούν εξαιρετικά γεγονότα κλπ. Μ' άλλα λόγια το κλίμα είναι ανεξάρτητο από οποιαδήποτε στιγμιαία κατάσταση.

Είναι φανερό ότι το κλίμα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον καιρό. Γι' αυτό πολλές φορές οι άνθρωποι ταυτίζουν τις δύο αυτές έννοιες. Μπορεί όμως να παραλληλιστεί το μεν κλίμα με το χαρακτήρα

ενός ανθρώπου, ο δε καιρός με τη στιγμιαία συμπεριφορά του. Ο καιρός αποτελεί αντικείμενο μελέτης της Μετεωρολογίας και το κλίμα της αδελφής επιστήμης προς τη Μετεωρολογία, της Κλιματολογίας. Η Κλιματολογία χρησιμοποιεί τα ίδια βασικά δεδομένα, που χρησιμοποιεί η Μετεωρολογία. Το αντίστοιχο του μετεωρολογικού στοιχείου για την Κλιματολογία είναι το κλιματικό στοιχείο. Τα αποτελέσματα της Κλιματολογίας είναι πάρα πολύ χρήσιμα στους μετεωρολόγους-προγνώστες και στις εφαρμογές της Μετεωρολογίας σε προβλήματα της Βιομηχανίας, της Γεωργίας, των Μεταφορών, της Αρχιτεκτονικής, της Βιολογίας και της Ιατρικής.

Η Μετεωρολογία ασχολείται με τη μελέτη του καιρού και γενικότερα των καιρικών συστημάτων του που η χρονική κλίμακά τους έχει ανώτερο όριο το χρόνο ζωής του ατμοσφαιρικού φαινομένου ή συστήματος. Ο χρόνος αυτός εκτείνεται μέχρι και μερικές βδομάδες για τις διαταραχές πλανητικής κλίμακας και καλύπτει τη γένεση, την ανάπτυξη και το θάνατο των ατμοσφαιρικών διαταραχών συνοπτικής κλίμακας. Επίσης, η Μετεωρολογία είναι εκείνη που προσδιορίζει τον καιρό, τα αίτια γένεσης και τους μηχανισμούς εξέλιξης και ανάπτυξης των ατμοσφαιρικών φαινομένων από την αστραπή και τη βροντή ως τα εποχικά καιρικά συστήματα.

Η Κλιματολογία μελετά τη συχνότητα εμφάνισης των καιρικών συστημάτων, τη χρονική τους κατανομή στις αστρονομικές και βιολογικές περιόδους χρόνου, τη χωρική τους διανομή στην επιφάνεια της γης και, κυρίως, τις μέσες τιμές των κλιματικών στοιχείων και παραμέτρων και για τόση χρονική περίοδο ώστε να απαλείφονται τα διάφορα σφάλματα. Μια τέτοια περίοδος που λέγεται **κανονική**, ύστερα από συμφωνία, λαμβάνεται η περίοδος των 30 ετών, χωρίς όμως να αποκλείει το γεγονός ότι τα συμπεράσματα είναι πολλές φορές ορθά στον ίδιο βαθμό για ορισμένα κλιματικά στοιχεία, που η χρονική τους κλίμακα είναι 10-15 χρόνια.

Θα πρέπει να διευκρινιστεί η διαφορά που υπάρχει ανάμεσα στις διάφορες παραμέτρους καιρού και στις αντίστοιχες κλιματικές. Π.χ. η μέση τιμή της θερμοκρασίας του μήνα Απρίλη για το έτος 1984 μαζί με τα στατιστικά της χαρακτηριστικά αποτελεί μια παράμετρο καιρού. Η μελέτη όμως που προκύπτει από τη σύγκριση αυτής της μέσης τιμής με την αντίστοιχη μέση τιμή του Απρίλη που είναι αποτέλεσμα των μέσων τιμών της θερμοκρασίας για μια περίοδο 30 ετών (κλιματική παράμετρος), τοποθετείται σε κλιματικό πλαίσιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Η ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

2.1. ΓΕΝΙΚΑ - ΟΡΙΣΜΟΙ

Με τον όρο «**ακτινοβολία**» εννοούμε την έκπομπή και διάδοση ενέργειας με ηλεκτρομαγνητικά κύματα (ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία). Με την έννοια αυτή η μεταφορά ενέργειας μπορεί να γίνει είτε στο κενό είτε μέσα από κάθε διαπερατό για την ακτινοβολία υλικό μέσο, σε αντίθεση με τους άλλους τρόπους μεταφοράς ενέργειας (δι' αγωγής, δια ρευμάτων, κλπ.) που η μεταφορά γίνεται μόνο με την παρουσία υλικού μέσου.

Το φαινόμενο μεταφοράς ενέργειας με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία παρουσιάζεται με δύο μορφές, τη **σωματιδιακή** και τη **κυματική**, διαφορετική η καθεμιά από την άλλη. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σαν κύμανση χαρακτηρίζεται από την ταχύτητα φάσεως (c), το μήκος κύματος (λ) και τη συχνότητα (ν). Η σχέση που συνδέει τα τρία αυτά μεγέθη είναι:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (2.1.1)$$

Στο κενό η ταχύτητα φάσεως, γνωστή σαν ταχύτητα του φωτός, είναι $c_0 = 2.9985 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$.

Η ενέργεια που εκπέμπεται, μεταφέρεται ή απορροφάται από ένα σώμα με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, σπάνια είναι μονοχρωματική, δηλαδή ενός μόνου συγκεκριμένου μήκους κύματος. Κατά κανόνα αποτελείται από ένα σύνολο ανεξάρτητων μονοχρωματικών ακτινοβολιών. Τα μήκη κύματος της τελικής ακτινοβολίας βρίσκονται μέσα σε ορισμένο διάστημα ($\alpha < \lambda < \beta$, $\alpha > 0$). Η κατανομή της ενέργειας της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, ως συνάρτηση του μήκους κύματος στο διάστημα (α , β), ονομάζεται **φάσμα** αυτής. Στον πίνακα 2.1.1 δίνονται οι διάφορες φασματικές περιοχές, μαζί με τις σχετικές ονομασίες, στις

οποίες χωρίζεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, σε συνάρτηση του μήκους κύματος. Ειδικότερα, η υπέρυθη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στην περιοχή: $0.72 \mu\text{m} < \lambda < 1000 \mu\text{m}$ λέγεται και **θερμική ακτινοβολία**.

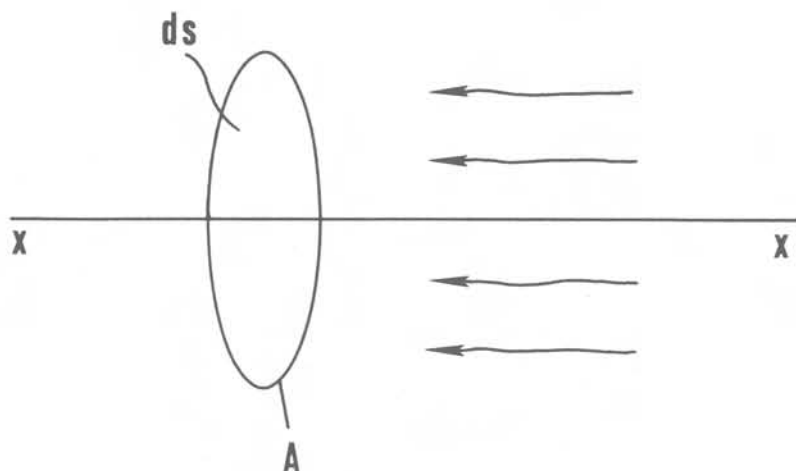
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1.1. Φασματικές περιοχές της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Περιοχή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας	Ονομασία της περιοχής
$\lambda < 1 \text{ \AA}$ $1 \text{ \AA} < \lambda < 10 \text{ \AA}$ $10 \text{ \AA} < \lambda < 2000 \text{ \AA}$ $2000 \text{ \AA} < \lambda < 3150 \text{ \AA}$ $3150 \text{ \AA} < \lambda < 3800 \text{ \AA}$	Ακτίνες γ και σκληρές ακτίνες X Μαλακές ακτίνες X Απομακρυσμένο υπεριώδες Μέσο υπεριώδους Εγγύς υπεριώδες
$3800 \text{ \AA} < \lambda < 7200 \text{ \AA}$	ορατό $\left\{ \begin{array}{l} \text{Ιώδες (4100 \AA)} \\ \text{Κυανό (4700 \AA)} \\ \text{Πράσινο (5200 \AA)} \\ \text{Κίτρινο (5800 \AA)} \\ \text{Πορτοκαλί (6000 \AA)} \\ \text{Κόκκινο (6500 \AA)} \end{array} \right.$
$0.72 \mu\text{m} < \lambda < 1.5 \mu\text{m}$ $1.5 \mu\text{m} < \lambda < 5.6 \mu\text{m}$ $7.6 \mu\text{m} < \lambda < 1000 \mu\text{m}$ $\lambda > 1000 \mu\text{m}$	εγγύς υπέρυθρο μέσο υπέρυθρο απομακρυσμένο υπέρυθρο μικροκύματα και ραδιοκύματα

Για τη μελέτη της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται διάφορα μεγέθη τα οποία επιτρέπουν την περιγραφή της κατανομής της μεταφερόμενης ενέργειας. Απ' αυτά χρησιμοποιούνται περισσότερο η **ροή** και η **ένταση** της ακτινοβολίας. Προς τούτο, υποθέτουμε ότι από μια επιφάνεια (A) με εμβαδόν ds διέρχεται κάθετα σ' αυτή (δηλαδή κατά τη διεύθυνση xx') σε χρόνο dt ποσότητα ενέργειας dE .

Ροή ακτινοβολίας κατά μια δοσμένη διεύθυνση λέγεται η ενέργεια που διέρχεται στη μονάδα χρόνου από τη μονάδα της επιφάνειας, που

τοποθετείται κάθετα στη διεύθυνση αυτή. Ονομάζοντας F τη ροή κατά τη διεύθυνση xx (σχήμα 2.1.1.),



Σχήμα 2.1.1.

Θα έχουμε:

$$F = \frac{dE}{ds \cdot dt} \quad (2.1.2)$$

Οι μονάδες της F είναι μονάδες ισχύος και εκφράζονται συνήθως σε:

$$\begin{aligned} &\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1} \quad \text{ή} \quad \text{ly} \cdot \text{min}^{-1} \quad (1 \text{ ly} = 1 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2}), \\ &\text{Watt} \cdot \text{m}^{-2}, \quad \text{Kcal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \quad \text{ή} \quad \text{kly} \cdot \text{h}^{-1} \\ &(1 \text{ Kcal} \cdot \text{h}^{-1} = 1.625 \text{ W} \quad \text{ή} \quad 1 \text{ W} = 0.86 \text{ Kcal} \cdot \text{h}^{-1}) \\ &1 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1} = 697 \text{ Watt} \cdot \text{m}^{-2}). \end{aligned}$$

Ο προηγούμενος ορισμός της ροής δεν αναφέρεται σε κανένα μήκος κύματος. Λαμβάνοντας υπόψη όμως και τη φασματική κατανομή της ακτινοβολίας, ορίζουμε τη **μονοχρωματική φασματική ροή** (E_λ), σαν την ενέργεια dE_λ με μήκος κύματος μεταξύ λ και $\lambda + d\lambda$ που διέρχεται από τη μονάδα επιφάνειας στη μονάδα χρόνου, δηλαδή:

$$F_\lambda = \frac{dE_\lambda}{ds \cdot dt \cdot d\lambda} \quad (2.1.3)$$

Μονάδες της F_λ είναι $\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{min} \cdot \mu\text{m}$ ή $\text{ly}/\text{min} \cdot \mu\text{m}$ και $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \mu\text{m}$.

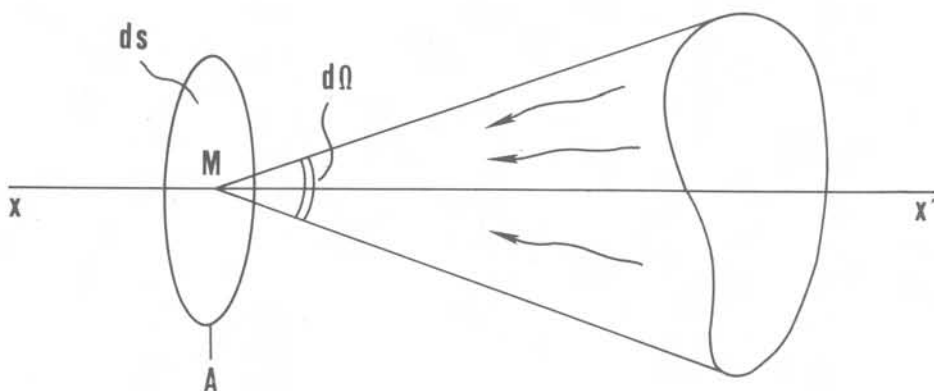
Τα μεγέθη F και F_λ συνδέονται από τη σχέση:

$$F = \int_0^{\infty} F_{\lambda} d\lambda \quad (2.1.4)$$

Σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό της ροής, το μέγεθος αυτό δίνει επαρκή στοιχεία για την εκτίμηση της ενέργειας που μεταφέρεται μόνο με δέσμη παραλλήλων ακτίνων. Στην περίπτωση που η ακτινοβολία διαδίδεται σε διάφορες διευθύνσεις, ο ορισμός αυτός της ροής θα πρέπει να συμπεριλάβει και άλλους όρους. Για το σκοπό αυτό εισάγεται η έννοια της **έντασης** της ακτινοβολίας. Προς τούτο, αν υποθέσουμε ότι η ακτινοβολία διαδίδεται σε διάφορες διευθύνσεις και ότι το σύνολο των ακτίνων που διέρχονται από το σημείο Μ βρίσκονται μέσα σ' ένα κώνο με γενέτειρα τη διεύθυνση XX' , στερεάς γωνίας $d\Omega$ (σχήμα 2.1.2), τότε η ένταση (I) της ακτινοβολίας ορίζεται από τη σχέση:

$$I = \frac{dE}{ds \cdot d\Omega \cdot dt} \quad (2.1.3)$$

δηλαδή, **ένταση** ακτινοβολίας είναι η ενέργεια που διέρχεται, κατά μια διεύθυνση, στη μονάδα του χρόνου και της στερεάς γωνίας από τη μονάδα της επιφάνειας που τοποθετείται κάθετα στη διεύθυνση αυτή.



Σχήμα 2.1.2.

Κατ' ανάλογο τρόπο με την φασματική ροή, ορίζεται και η φασματική ένταση (I_{λ}) της ακτινοβολίας ως:

$$I_{\lambda} = \frac{dE_{\lambda}}{ds \cdot d\Omega \cdot dt \cdot d\lambda} \quad (2.1.6)$$

Γενικά, η ένταση και η ροή της ακτινοβολίας εξαρτώνται από τη

διεύθυνση, τη θέση, το χρόνο και το μήκος κύματος. Στην περίπτωση που η ροή και η ένταση της ακτινοβολίας έχουν σταθερή τιμή σε κάθε σημείο του πεδίου μέσα στο οποίο μεταδίδεται η ακτινοβολία, το πεδίο λέγεται **ομογενές**, ενώ, αν η τιμή τόσο της έντασης όσο και της ροής είναι σταθερή σ' όλες τις διευθύνσεις, τότε το πεδίο λέγεται **ισότροπο**.

Κάθε υλικό σώμα (στερεό, υγρό ή αέριο σε πίεση > 1 mb) ακτινοβολεί ενέργεια με τη μορφή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Το φάσμα της ακτινοβολίας αυτής εξαρτάται από τη θερμοκρασία του σώματος και το είδος της επιφάνειάς του.

Ονομάζουμε **αφετική ικανότητα ή ικανότητα εκπομπής**, $E(\lambda, T)$, ενός σώματος, για ορισμένο μήκος κύματος λ και για μια ορισμένη θερμοκρασία, την ενέργεια που εκπέμπει το σώμα αυτό από τη μονάδα επιφάνειας στη μονάδα χρόνου. Αυτή εκφράζεται σε μονάδες ροής και συγκεκριμένα σε: $\text{Watt} \cdot \text{cm}^{-2}$ και $\text{cal} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$ ή $\text{ly} \cdot \text{min}^{-1}$.

Όταν μια ποσότητα ακτινοβολίας προσπίπτει σ' ένα σώμα, τότε ένα μέρος αυτής απορροφάται απ' αυτό, αυξάνοντας έτσι την εσωτερική του ενέργεια που εκδηλώνεται με αύξηση της θερμοκρασίας του, ένα άλλο μέρος της ανακλάται από το σώμα και το υπόλοιπο μέρος της ακτινοβολίας περνάει μέσα από το σώμα, αλλάζοντας ταχύτητα και μήκος κύματος, ανάλογα με το δείκτη διάθλασης του σώματος. Το ποσοστό της απορροφούμενης ενέργειας ονομάζεται **απορροφητική ικανότητα ή συντελεστής απορρόφησης**. Αυτός εξαρτάται από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που προσπίπτει και από τη φύση και το είδος της επιφάνειας του σώματος. Παριστάνεται με a και είναι αριθμός αδιάστατος και μικρότερος της μονάδας.

Το ποσοστό της ακτινοβολίας που ανακλάται από το σώμα ονομάζεται **ανακλαστική ικανότητα ή συντελεστής ανακλάσεως** του σώματος και παριστάνεται με r . Τέλος, το ποσοστό της ακτινοβολίας που διαπερνά το σώμα ονομάζεται **συντελεστής διαφάνειας ή απλώς διαφάνεια ή συντελεστής μεταφοράς**. Ο συντελεστής αυτός παριστάνεται με t . Οι συντελεστές r και t εξαρτώνται, επίσης, τόσο από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας όσο και από τη φύση και το είδος της επιφάνειας του σώματος. Η σχέση που συνδέει τους τρεις αυτούς θερμοφυσικούς συντελεστές είναι:

$$a + r + t = 1 \quad (2.1.7)$$

Αν σ' ένα σώμα συμβεί να είναι $a = 1$, τότε το σώμα αυτό λέγεται **μέλαν σώμα**. Δηλαδή, ως «μέλαν σώμα» ορίζεται το θεωρητικό εκείνο σώμα που, ανεξάρτητα από το μήκος κύματος, έχει την ιδιότητα ν' απορροφά ολικά την προσπίπτουσα σ' αυτό ακτινοβολία, χωρίς να την

ανακλά ή να την μεταβιβάσει. Στην περίπτωση αυτή, από τη σχέση (2.1.7) προκύπτει ότι $r = 0$ και $t = 0$.

Τα πραγματικά σώματα έχουν $\alpha \neq 1$ και λέγονται **φαιά σώματα**. Σ' αντίθεση με το μέλαν σώμα, το υποθετικό «**λευκό σώμα**» παρουσιάζει μηδενική απορροφητικότητα σ' όλα τα μήκη κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

2.2. ΝΟΜΟΙ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Ως νόμοι της ακτινοβολίας είναι γνωστοί τέσσερες που περιγράφουν, ουσιαστικά, τη συμπεριφορά του μαύρου ή μέλανος σώματος. Αυτοί είναι:

1. Νόμος του Kirchhoff

Υποθέτουμε ότι έχουμε ένα σώμα που βρίσκεται σε θερμοδυναμική ισορροπία, με προσπίπτουσα ενέργεια υπό μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας E και συντελεστή απορροφήσεως α . Με τις προϋποθέσεις αυτές το σώμα θα απορροφήσει ενέργεια E' ίση με:

$$E' = \alpha E \quad (2.2.1)$$

Επειδή όμως το σώμα βρίσκεται σε θερμοδυναμική ισορροπία, την ενέργεια αυτή θα την εκπέμψει. Ειδικά το μέλαν σώμα θα απορροφήσει ενέργεια E και θα εκπέμψει πάλι ενέργεια ίση με E . Το λόγο E'/E ονομάζουμε **συντελεστή εκπομπής** και τον παριστάνουμε με ϵ . Δηλαδή, ο συντελεστής εκπομπής είναι ο λόγος της εκπεμπόμενης ενέργειας από ένα σώμα προς την ενέργεια που θα εξέπεμπε το ίδιο σώμα, αν ήταν μέλαν. Από τα παραπάνω προκύπτει η σχέση:

$$\alpha = \epsilon \quad (2.2.2)$$

που αποτελεί τη μαθηματική διατύπωση του νόμου του Kirchhoff.

2. Νόμος του Planck

Σύμφωνα με το νόμο αυτό, η μονοχρωματική ακτινοβολία που εκπέμπει ένα μέλαν σώμα θερμοκρασίας $T^\circ \text{ K}$ εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία και το μήκος κύματος (λ) της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. Η μονοχρωματική ισχύς εκπομπής ενός μέλανος σώματος στο μήκος κύματος λ δίνεται από τον τύπο του Planck:

$$E_\lambda = c_1 \lambda^{-5} (e^{c_2/\lambda T} - 1)^{-1} \quad (2.2.3)$$