

Παύλος Κασσωμένος

ΦΥΣΙΚΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Πρόλογος.....	15
1	Η ατμόσφαιρα της Γης.....	17
1.1	Γενικά	17
1.2	Η σύσταση της ατμόσφαιρας.....	24
1.3	Ιδιότητες της ατμόσφαιρας	25
1.4	Πρότυπες ατμόσφαιρες	29
1.5	Μέτρηση των ατμοσφαιρικών αερίων	32
	Ασκήσεις.....	34
	Βιβλιογραφία	35
2	Η ακτινοβολία στην ατμόσφαιρα	37
2.1	Γενικά	37
2.2	Η ηλιακή και η γήινη ακτινοβολία.....	38
2.3	Το ισοζύγιο της ηλιακής και της γήινης ακτινοβολίας	40
2.4	Νόμοι που διέπουν την ακτινοβολία.....	40
2.5	Η διάδοση της ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα.....	44
2.6	Η απορρόφηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τα ατμοσφαιρικά αέρια	45
2.7	Η απορρόφηση στο υπέρυθρο.....	46
2.8	Η απορρόφηση στο υπεριώδες.....	48
2.9	Σκέδαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας	50
2.10	Η σκέδαση Rayleigh	51
2.11	Η σκέδαση Mie	54
	Ασκήσεις.....	56
	Βιβλιογραφία	57

3	Το νερό στην ατμόσφαιρα	59
3.1	Γενικά	59
3.2	Εκφράσεις της υγρασίας στην ατμόσφαιρα	60
3.3	Φάσεις του νερού στην ατμόσφαιρα	64
	Ασκήσεις.....	66
	Βιβλιογραφία	67
4	Θερμοδυναμική και στατική της ατμόσφαιρας	69
4.1	Ο πρώτος θερμοδυναμικός νόμος	69
4.2	Σύντομη επισκόπηση των θερμοδυναμικών διεργασιών στην ατμόσφαιρα	70
4.3	Ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος	73
4.4	Η εξίσωση Clausius-Clapeyron	74
4.5	Κατακόρυφες κινήσεις στην ατμόσφαιρα.....	77
4.6	Υπολογισμός της ξηρής αδιαβατικής θερμοβαθμίδας	78
4.7	Υπολογισμός της υγρής αδιαβατικής θερμοβαθμίδας	80
4.8	Θερμοκρασιακές μεταβολές ενός κατακόρυφα κινούμενου θύλακα αέρα.....	83
4.9	Η ατμοσφαιρική ευστάθεια.....	84
4.10	Οι θερμοκρασιακές αναστροφές.....	88
4.11	Παραδείγματα ατμοσφαιρικής ευστάθειας σε σχέση με την απελευθέρωση ρύπων από καμινάδες.....	92
4.12	Τύποι ατμοσφαιρικής ευστάθειας ως συνάρτηση της ηλιακής ακτινοβολίας, του ανέμου και της νέφωσης	94
	Ασκήσεις.....	96
	Βιβλιογραφία	96
5	Η κίνηση στο ατμοσφαιρικό ρευστό	99
5.1	Γενικά	99
5.2	Δυνάμεις που ασκούνται σε μια αέρια μάζα.....	100
5.3	Υλική και τοπική παράγωγος.....	100
5.4	Η δύναμη βαροβαθμίδας.....	103
5.5	Η δύναμη βαρύτητας.....	104
5.6	Η δύναμη τριβής	105
5.7	Η φυγόκεντρος δύναμη	107
5.8	Η δύναμη Coriolis.....	108
5.9	Η διατήρηση της μάζας – εξίσωση της συνέχειας	109
5.10	Διατήρηση της ορμής – εξισώσεις κίνησης	111
5.11	Η διατήρηση της ενέργειας.....	114
5.12	Νόμος των τέλειων αερίων	117
5.13	Διατήρηση των υδρατμών.....	117
5.14	Διατήρηση του ατμοσφαιρικού ρύπου.....	117

5.15	Ο γεωστροφικός άνεμος.....	117
5.16	Το γεωδυναμικό	118
5.17	Ο αγεωστροφικός άνεμος	120
5.18	Ο θερμικός άνεμος.....	123
5.19	Η ρευματοσυνάρτηση	125
	Ασκήσεις.....	126
	Βιβλιογραφία	128
6	Το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα	129
6.1	Γενικά	129
6.2	Η τυρβώδης κίνηση στο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα.....	130
6.3	Ημερήσια και ετήσια μεταβολή του πάχους του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος.....	130
6.4	Περιοχές του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος	132
	Το επιφανειακό στρώμα.....	135
	Το αναμεμειγμένο στρώμα	136
	Η ζώνη εισροής.....	136
	Το υπολειπόμενο στρώμα	136
6.5	Το μήκος τραχύτητας.....	137
6.6	Η κίνηση στο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα	137
6.7	Η τριβή στην τυρβώδη ροή.....	143
6.8	Ο αριθμός Reynolds.....	145
6.9	Παραμετροποιήσεις – Κ-θεωρία	145
6.10	Η τυρβώδης κινητική ενέργεια	148
6.11	Η θεωρία του μήκους ανάμειξης.....	149
6.12	Τεχνικές τερματισμού	150
6.13	Οι ροές στο επιφανειακό στρώμα	152
6.14	Οι ροές στο αναμεμειγμένο στρώμα	154
6.15	Το στρώμα Prandtl.....	156
	Περίπτωση ουδέτερης στρωμάτωσης	157
	Ευσταθής και ασταθής στρωμάτωση.....	161
6.16	Το στρώμα Ekman	162
6.17	Δυναμική και στατική ευστάθεια – κύματα Kelvin-Helmholtz.....	169
6.18	Οι αριθμοί Richardson	172
6.19	Το μήκος Monin-Obukhov	174
6.20	Ο λογαριθμικός άνεμος.....	176
	Ασκήσεις.....	179
	Βιβλιογραφία	180
7	Οι κλίμακες κινήσεων	183
7.1	Οι κλίμακες των κινήσεων.....	183
7.2	Κυμάνσεις πλανητικής κλίμακας.....	185

7.3	Μεγάλης κλίμακας διαταραχές του ατμοσφαιρικού ρευστού	185
7.4	Μεσαίου μεγέθους κυμάνσεις του ατμοσφαιρικού ρευστού	187
7.5	Διαταραχές μέσης κλίμακας τύπου α	188
7.6	Θαλάσσια-λιμναία/απόγειος αύρα	188
	Ο μηχανισμός της θαλάσσιας/απόγειας αύρας	189
	Το μέτωπο της θαλάσσιας αύρας	191
	Θαλάσσια αύρα των νησιών	193
	Αύρες μικρότερων επιφανειών νερού – αύρες λιμνών, ποταμών, κόλπων	194
	Αύρα και ατμοσφαιρική ρύπανση	198
	Παραδείγματα θαλάσσιας αύρας στην Ελλάδα – η περίπτωση της Αττικής	199
7.7	Η αστική θερμική νήσος και η αστική αύρα	200
7.8	Οι ατμοσφαιρικές κυκλοφορίες σε ορεινές περιοχές	204
	Άνεμοι κάθετοι στον άξονα της κοιλάδας – αναβατικοί και καταβατικοί άνεμοι	205
	Άνεμοι κατά μήκος του άξονα μιας κοιλάδας	207
	Αλληλεπίδραση των ροών κάθετα και κατά μήκος του άξονα της κοιλάδας	208
7.9	Καναλισμός της ατμοσφαιρικής ροής	211
7.10	Αύρες ενδοχώρας	212
7.11	Το εσωτερικό οριακό στρώμα	215
7.12	Χαμηλού επιπέδου αεροχείμαρροι	217
7.13	Πολύπλοκες ροές	220
7.14	Η ροή γύρω και πάνω από φυσικά εμπόδια – ο αριθμός Froude	221
7.15	Ατμοσφαιρικές ροές μέσα σε αστικά συμπλέγματα	225
7.16	Το οριακό στρώμα πάνω από ένα δάσος και οι κυκλοφορίες κατά τη διάρκεια δασικής πυρκαγιάς	228
	Ασκήσεις	230
	Βιβλιογραφία	231
8	Η ατμοσφαιρική διασπορά-διάχυση	235
8.1	Πηγές ατμοσφαιρικών ρύπων	235
8.2	Η απομάκρυνση των ρύπων από την ατμόσφαιρα	236
8.3	Η διασπορά ενός καπνοθυσάνου	237
8.4	Η ατμοσφαιρική διάχυση	241
8.5	Η γκαουσιανή προσέγγιση του καπνοθυσάνου	243
8.6	Ανάκλαση και απορρόφηση του καπνοθυσάνου	247
8.7	Ο υπολογισμός των συντελεστών διασποράς σ_y και σ_z	248
8.8	Εφαρμογή περιπτώσεων διασποράς με τη χρήση της γκαουσιανής προσέγγισης	251
	Καπνισμός	252

	Παγίδευση ενός καπνοθυσάνου σε μια κοιλάδα	253
8.9	Γραμμικές πηγές	254
8.10	Επιφανειακές πηγές	255
8.11	Στιγμαία εκπομπή	257
8.12	Τα μαθηματικά μοντέλα διασποράς.....	258
8.13	Η διασπορά των ρύπων σύμφωνα με την προσέγγιση κατά Euler	260
8.14	Η διασπορά των ρύπων σύμφωνα με την προσέγγιση κατά Lagrange.....	262
8.15	Τα μοντέλα κυτίου	263
	Τα μοντέλα κυτίου κατά Euler.....	263
	Τα μοντέλα κυτίου κατά Lagrange	264
8.16	Υβριδικά μοντέλα	265
8.17	Τα μοντέλα τουλίπας	266
8.18	Μεταφορά μεγάλης κλίμακας.....	266
	Βιβλιογραφία	268
9	Ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες	271
9.1	Εισαγωγή	271
9.2	Ηλεκτρομαγνητικά πεδία στην περιοχή των χαμηλών συχνοτήτων.....	272
9.3	Ηλεκτρομαγνητικά πεδία στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων	273
9.4	Δίκτυα κινητής τηλεφωνίας	274
9.5	Σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας	276
9.6	Ασύρματα τηλέφωνα	279
9.7	Ασύρματα δίκτυα (Wi-Fi).....	280
9.8	Εφαρμογές των ραδιοσυχνοτήτων σε συστήματα ασφαλείας και προστασίας.....	280
	Διαχείριση εναέριας κυκλοφορίας	281
	Θαλάσσια ραντάρ	281
	Ραντάρ εντοπισμού-παρακολούθησης	281
	Σαρωτές ασφαλείας.....	282
9.9	Οικιακές εφαρμογές.....	282
9.10	Βιομηχανικές εφαρμογές	283
9.11	Ιατρικές εφαρμογές.....	283
	Μαγνητικοί τομογράφοι	284
	Διαθερμία.....	284
	Χειρουργική διαθερμία και εκτομή με τη βοήθεια των ραδιοσυχνοτήτων	285
9.12	Βιολογικές επιπτώσεις των ραδιοσυχνοτήτων.....	285
9.13	Ιονίζουσες ακτινοβολίες	286
9.14	Ακτινοβολία του εδάφους.....	287

9.15	Κοσμική ακτινοβολία	288
9.16	Εφαρμογές των ιονίζουσών ακτινοβολιών – οι ακτίνες Χ.....	288
9.17	Η χρήση της ραδιενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας – πυρηνικά ατυχήματα.....	289
9.18	Πυρηνικά απόβλητα.....	293
9.19	Πυρηνικά όπλα	294
	Βιβλιογραφία	295
10	Ο ήχος και ο θόρυβος στην ατμόσφαιρα.....	297
10.1	Ο ήχος	297
10.2	Ο θόρυβος	298
10.3	Μεγέθη μέτρησης του ήχου	299
10.4	Ηχητικά πεδία – ορισμοί.....	301
10.5	Διάδοση του ήχου σε ελεύθερο πεδίο	301
10.6	Κατευθυντικότητα του ήχου	302
10.7	Ανάκλαση του ήχου	303
10.8	Αντήχηση	303
10.9	Ηχηρότητα	304
10.10	Ανάλυση συχνοτήτων	305
10.11	Τύποι θορύβου	307
10.12	Παράγοντες που επηρεάζουν τη διάδοση του ήχου-θορύβου.....	307
10.13	Ισοδύναμη ηχητική στάθμη	310
10.14	Ποσοστομοριακές ηχητικές στάθμες	311
10.15	Δείκτες θορύβου	312
10.16	Πηγές θορύβου.....	312
10.17	Ο οδικός κυκλοφοριακός θόρυβος.....	313
10.18	Θόρυβος από τους σιδηροδρόμους	317
10.19	Ο αεροπορικός θόρυβος.....	317
10.20	Ο βιομηχανικός θόρυβος	319
10.21	Θόρυβοι από κατασκευαστικές εργασίες και εξορύξεις	320
10.22	Οικιακές συσκευές και ήχοι εσωτερικών χώρων	320
10.23	Τρόποι περιορισμού του θορύβου – ηχοπετάσματα	321
10.24	Επιτρεπόμενα όρια θορύβου	322
10.25	Δονήσεις	324
	Ασκήσεις.....	325
	Βιβλιογραφία	326
11	Το νερό στη Γη και ο παγκόσμιος ωκεανός.....	329
11.1	Γενικά	329
11.2	Ο υδρολογικός κύκλος στον πλανήτη.....	330
11.3	Ο παγκόσμιος ωκεανός	332
11.4	Η αλατότητα και η θερμοκρασία στον ωκεανό	335

11.5	Το διαλυμένο O_2 και άλλοι παράγοντες.....	338
11.6	Ο παγκόσμιος ωκεανός και το CO_2	339
11.7	Η οξίνιση του ωκεανού	340
11.8	Η κίνηση στα νερά.....	341
	Δυνάμεις	343
	Τύποι της ροής στη θάλασσα (τα θαλάσσια ρεύματα).....	344
	Κύματα.....	344
11.9	Η ωκεάνια κυκλοφορία μεγάλης κλίμακας.....	345
11.10	Ρεύματα αδράνειας	346
11.11	Γεωστροφικές ροές	348
11.12	Ανεμογενείς ροές	350
11.13	Στροβιλισμός.....	350
11.14	Ροές βαθέων υδάτων	351
11.15	Ισημερινές ροές.....	353
11.16	Παλίρροιες	355
11.17	Επιφανειακά εσωτερικά ύδατα	355
11.18	Υπόγεια ύδατα	357
	Ασκήσεις.....	357
	Βιβλιογραφία	357
12	Η φυσική του εδάφους	361
12.1	Γενικά	361
12.2	Φυσικές ιδιότητες του εδάφους	362
12.3	Χημικές και βιολογικές ιδιότητες του εδάφους	364
12.4	Η οργανική ύλη του εδάφους – χούμο	366
12.5	Ταξινόμηση των εδαφών	367
12.6	Οι πόροι στο έδαφος και η σημασία τους	369
12.7	Φυσικοί παράγοντες και η διείδυσή τους στο έδαφος	370
12.8	Μεταφορά της θερμότητας στο έδαφος	371
12.9	Η επίδραση της καλλιέργειας στη θερμοκρασία του εδάφους.....	374
12.10	Η σύνθεση των αερίων στο έδαφος	377
12.11	Η κίνηση των αερίων μέσα στο έδαφος.....	378
	Κατακόρυφη μεταφορά.....	379
	Διάχυση.....	381
12.12	Το νερό στο έδαφος	382
12.13	Η ροή του νερού σε κορεσμένο έδαφος.....	383
12.14	Η ροή του νερού σε ακόρεστο έδαφος.....	387
12.15	Η ροή νερού που περιέχει διαλυμένες ουσίες.....	389
12.16	Αλατότητα των εδαφών	390
12.17	Η διάβρωση των εδαφών	391
12.18	Η υποβάθμιση του εδάφους	393
12.19	Το μόνιμα παγωμένο έδαφος	394

	Ασκήσεις.....	395
	Βιβλιογραφία	397
13	Η υπερθέρμανση του πλανήτη και η κλιματική αλλαγή.....	399
13.1	Γενικά	399
13.2	Η ενεργός θερμοκρασία της Γης.....	399
13.3	Το φαινόμενο του θερμοκηπίου.....	401
13.4	Η διαταραχή ακτινοβολίας και η επιφανειακή θερμοκρασία.....	401
13.5	Ο κύκλος του άνθρακα και το διοξείδιο του άνθρακα	402
13.6	Τα αέρια του θερμοκηπίου.....	406
13.7	Τα σωματίδια και η επίδρασή τους στη διαταραχή ακτινοβολίας	410
13.8	Τρόποι μέτρησης της κατάστασης του κλίματος στο παρελθόν	411
	Ο τρόπος χρησιμοποίησης του άνθρακα 14 για τη ραδιοχρονολόγηση	411
	Τα ισότοπα O_2 ως μέθοδος ραδιοχρονολόγησης	412
13.9	Παλαιοκλιματολογία.....	414
13.10	Κλιματικές αλλαγές στην περίοδο της Ολοκαίνου εποχής.....	415
13.11	Το κλίμα την τελευταία χιλιετία	417
13.12	Το κλίμα τον 20ό αιώνα.....	418
13.13	Δείκτες της κλιματικής μεταβολής	421
13.14	Τα σενάρια εκπομπών	426
13.15	Αναδύομενα περιβαλλοντικά προβλήματα που οφείλονται στην παγκόσμια θέρμανση και την κλιματική μεταβολή – προβολές για τον 21ο αιώνα	430
	Ερμηνείωση	430
	Καύσωνες.....	432
	Η επίδραση στη γονιμότητα από το CO_2	433
	Δάση, αποδάσωση και κλιματική μεταβολή.....	433
	Οξίνιση των ωκεανών	434
	Η άνοδος της στάθμης των ωκεανών	435
	Υφαλμύρωση	436
13.16	Επιπτώσεις της παγκόσμιας θέρμανσης στην κοινωνία και τη ζωή ..	436
13.17	Η κλιματική αλλαγή στον ελληνικό χώρο	439
13.18	Παγκόσμια δράση για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής....	440
13.19	Ανθρωπογενής ή φυσική μεταβλητότητα	442
	Βιβλιογραφία	444
	Κατάλογος συμβόλων	447

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το βιβλίο αυτό φιλοδοξεί να καλύψει ένα κενό που υπάρχει στην ελληνόγλωσση βιβλιογραφία σχετικά με το διδασκόμενο σε αρκετά πανεπιστημιακά ιδρύματα μάθημα της Φυσικής Περιβάλλοντος. Το μάθημα αυτό διδάσκεται τόσο σε προπτυχιακό όσο και σε μεταπτυχιακό επίπεδο.

Ο συγγραφέας έχει διδάξει το μάθημα αυτό επί 17 συνολικά έτη στο Πολυτεχνείο Κρήτης και στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων. Το βιβλίο αυτό βασίζεται στις σημειώσεις που κάθε φορά έδινε στους φοιτητές του (προπτυχιακό και μεταπτυχιακό επίπεδο).

Εκτός από την επισκόπηση της πρόσφατης διεθνούς βιβλιογραφίας, έγινε και χρήση των σημειώσεων που ο συγγραφέας κρατούσε επιμελώς όταν ήταν μεταπτυχιακός φοιτητής την περίοδο 1980-1981 στο Μεταπτυχιακό της Μετεωρολογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών. Το θεωρεί ως ελάχιστο φόρο τιμής στους δασκάλους του που δίδαξαν την προαναφερθείσα χρονική περίοδο και με αυτόν τον τρόπο τους ευχαριστεί για τις γνώσεις που του μεταλαμπάδευσαν κάνοντάς τον να ασχοληθεί με αυτό το γνωστικό αντικείμενο στο επιστημονικό του πεδίο.

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συναδέλφους μου για τη σωστή καθοδήγηση, τη βοήθεια και τη συμπαράσταση τους καθόλη τη διάρκεια της παρουσίας μου στο Πανεπιστήμιο.

Το βιβλίο αυτό αποτελείται από 13 κεφάλαια και δομείται ως εξής: Τα 10 πρώτα κεφάλαια αναφέρονται στη Φυσική του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, ενώ τα Κεφάλαια 11 και 12 αναφέρονται στη Φυσική του νερού και του εδάφους. Το βιβλίο κλείνει με το Κεφάλαιο 13, που αναφέρεται στην υπερθέρμανση του πλανήτη και συνδυάζει γνώσεις από την ατμόσφαιρα, το νερό και το έδαφος.

Από τα πρώτα 10 κεφάλαια, το Κεφάλαιο 1 είναι γενικό και εισαγωγικό. Το Κεφάλαιο 2 ασχολείται, εν συντομία, με το κινούν αίτιο στην ατμόσφαιρα, την η-

λιακή ακτινοβολία. Το Κεφάλαιο 3, παρότι μικρό, θεωρήθηκε ότι έπρεπε να είναι αυτοτελές και ασχολείται με το νερό στην ατμόσφαιρα, λόγω του σημαντικού ενεργειακού ρόλου που παίζει στις ατμοσφαιρικές διεργασίες. Το Κεφάλαιο 4 αναφέρεται στη θερμοδυναμική και τη στατική στην ατμόσφαιρα. Το Κεφάλαιο 5 ασχολείται με την κίνηση στην ατμόσφαιρα. Το Κεφάλαιο 6 αναφέρεται στο οριακό στρώμα, ενώ το Κεφάλαιο 7 στις κλίμακες κινήσεων. Το Κεφάλαιο 8 εξετάζει τη διασπορά και τη διάχυση στο οριακό στρώμα. Το Κεφάλαιο 9 ασχολείται με τις ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες, ενώ το Κεφάλαιο 10 με τη διάχυση του ήχου στην ατμόσφαιρα.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον συνάδελφο Απόστολο Κελέση για την πολύτιμη βοήθειά του κατά την κριτική ανάγνωση των κεφαλαίων του βιβλίου και τις παρατηρήσεις του. Επίσης, ευχαριστώ τους φοιτητές του μεταπτυχιακού μας «Ατμοσφαιρικές Επιστήμες και Περιβάλλον» στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων των ετών 2013-2015 για την κριτική ανάγνωση και τις παρατηρήσεις τους, καθώς και για τη λύση των ασκήσεων.

Τέλος θα ήθελα να αναφέρω ότι κάθε παρατήρηση και υπόδειξη από συναδέλφους και φοιτητές είναι ευπρόσδεκτη και θα βοηθήσει να βελτιωθεί το πόνημα αυτό.

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο

1

Η ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΤΗΣ ΓΗΣ

1.1 Γενικά

Η Γη είναι ένας από τους πλανήτες του ηλιακού μας συστήματος, ο τρίτος κατά σειρά σε απόσταση από τον Ήλιο, από τον οποίο απέχει περίπου 150,000,000 km (μέση απόσταση).

Η Γη δεν είναι ακριβώς σφαίρα, αλλά είναι ένα πεπλατυσμένο ελλειψοειδές, συμπίεσμένο στους πόλους και εξογκωμένο στον ισημερινό, το οποίο μάλιστα «βλέπει» τον ήλιο υπό γωνία 23.3° με την κατακόρυφο του τόπου (Σχήμα 1.1α).

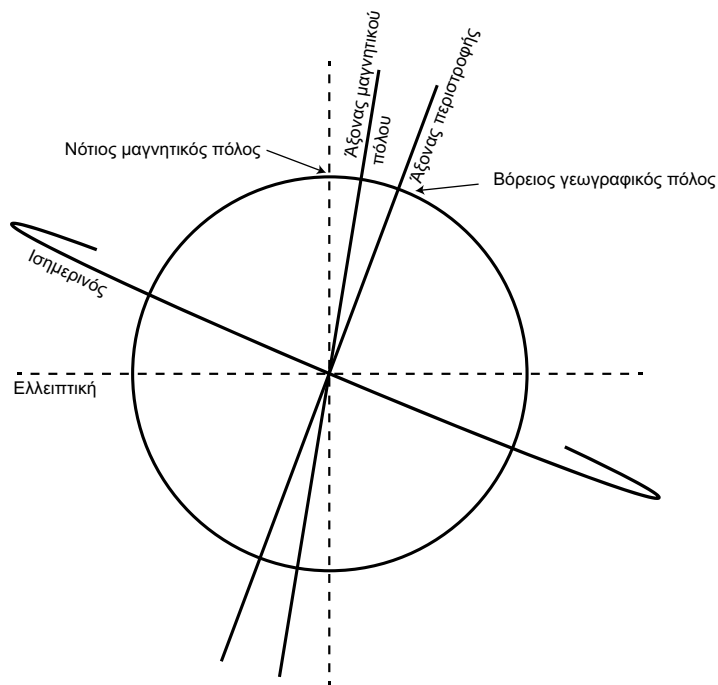
Η Γη περιφέρεται γύρω από τον Ήλιο (σε ένα περίπου έτος ή 365.25 περίπου ημέρες) και ταυτόχρονα περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της σε 24 ώρες (εκδυσμών προς ανατολάς).

Πίνακας 1.1 Μερικά χαρακτηριστικά μεγέθη που περιγράφουν τη Γη και την κίνησή της.

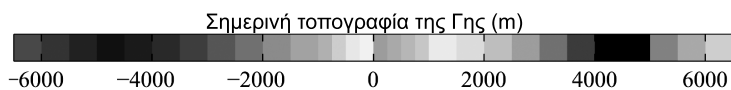
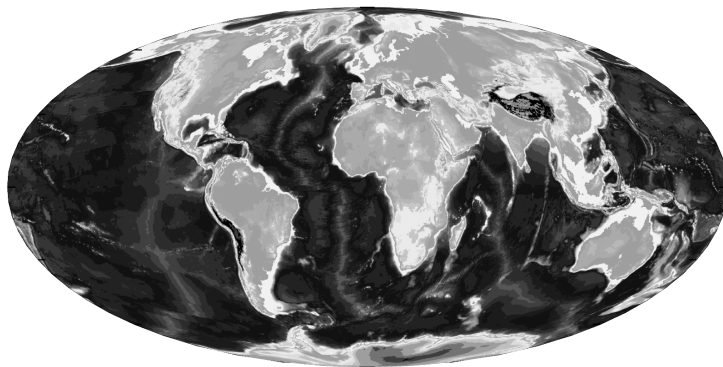
Αφήλιο ¹	152,098,232 km
Περιήλιο ²	147,098,290 km
Μέση απόσταση Γης-Ηλίου	149,598,261 km
Μέση ακτίνα της Γης στον ισημερινό	6387.1 km
Μέση ακτίνα της Γης στους πόλους	6356.8 km
Μέση ακτίνα	6371 km
Μάζα της Γης	5.9736×10^{24} kg
Κλίση άξονα	$23^\circ 26' 41.4119''$
Γωνιακή ταχύτητα περιστροφής	$7.29 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$
Παγκόσμια βαρυτική σταθερά	$6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2 \text{ kg}^{-2}$

¹ Η μέγιστη απόσταση Γης-Ηλίου.

² Η ελάχιστη απόσταση Γης-Ηλίου.



(α)



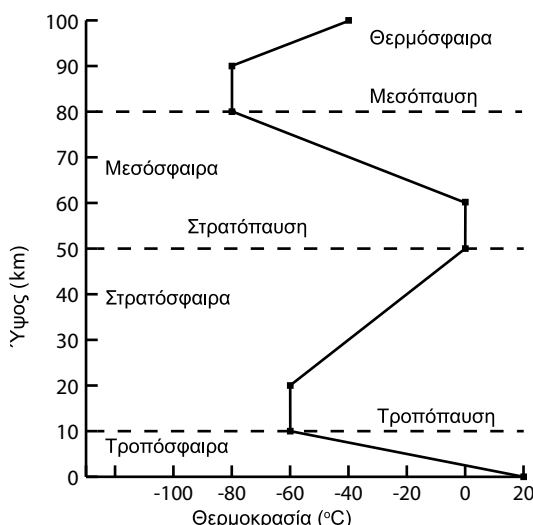
(β)

Σχήμα 1.1 (α) Η κλίση του άξονα της Γης, (β) Κατανομή ξηράς-θάλασσας και τοπογραφία ξηράς και θαλασσίων βαθών στον πλανήτη [Present-day Earth altimetry and bathymetry. Data from the National Geophysical Data Center's Terrain Base Digital Terrain Model. *en.wikipedia.org*, ημερ. πρόσβασης 5 Οκτωβρίου 2015.]

Η επιφάνεια της Γης καλύπτεται κατά 71% περίπου από ύδατα, τη συντριπτική πλειονότητα των οποίων αποτελεί ο Παγκόσμιος Ωκεανός, ενώ το υπόλοιπο είναι ξηρά κατανεμημένη σε έξι ηπείρους (Σχήμα 1.1β). Τα ύδατα αποτελούν την **υδρόσφαιρα**. Από την επιφάνεια της Γης μέχρι τα 500 km περίπου εκτείνεται η ατμόσφαιρα της Γης. Αν θέλαμε να δώσουμε έναν ορισμό για τη γήινη ατμόσφαιρα, θα τη χαρακτηρίζαμε σαν το *αεριώδες περίβλημα* της Γης.

Βεβαίως, η πυκνότητα του ατμοσφαιρικού ρευστού δεν είναι ομοιόμορφη, με αποτέλεσμα το 99% περίπου της ατμοσφαιρικής μάζας να συγκεντρώνεται στα πρώτα 50 km από την επιφάνειά της. Η ατμόσφαιρα της Γης χωρίζεται, έχοντας ως παράμετρο την καθ' ύψος μεταβολή της θερμοκρασίας, σε ατμοσφαιρικά στρώματα που φέρουν ονομασίες όπως *τροπόσφαιρα*, *στρατόσφαιρα*, *μεσόσφαιρα*, *θερμόσφαιρα* και *εξώσφαιρα*, ανάλογα με την απόστασή τους από την επιφάνεια της Γης (Σχήμα 1.2). Σημαντικές ιδιότητες που χαρακτηρίζουν τα στρώματα αυτά είναι, εκτός από τη θερμοκρασία, η πυκνότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και η ατμοσφαιρική πίεσή του. Όταν μεταβαίνουμε από το ένα ατμοσφαιρικό στρώμα στο άλλο, υπάρχει μια ζώνη μετάβασης· αυτές οι ζώνες ονομάζονται, αντίστοιχα, **τροπόπανση**, **στρατόπανση**, **μεσόπανση**, **θερμόπανση** (Κατσούλης, 2000).

Το πρώτο ατμοσφαιρικό στρώμα, κατά σειρά απόστασης από την επιφάνεια της Γης, είναι η **τροπόσφαιρα**, με μέσο ύψος σε ολόκληρο τον πλανήτη τα 10–11 km. (Η κατακόρυφη έκταση του είναι μικρότερη στους πόλους και μεγαλύτερη



Σχήμα 1.2 Η κατατομή της θερμοκρασίας με το ύψος στα διάφορα ατμοσφαιρικά στρώματα.

στον ισημερινό.) Στην τροπόσφαιρα (που είναι και η πιο πυκνή σε σχέση με τα άλλα ατμοσφαιρικά στρώματα), εξελίσσονται όλες εκείνες οι διεργασίες που έχουν να κάνουν με τον καιρό, ενώ συντελούνται όλες οι ανθρώπινες δραστηριότητες. Η θερμοκρασία ελαττώνεται σταθερά σε όλο το μήκος της τροπόσφαιρας και από περίπου 15°C στην επιφάνεια του εδάφους φτάνει στους -55°C περίπου στην τροπόπαυση στα μέσα γεωγραφικά πλάτη. Η μεταβολή της θερμοκρασίας με το ύψος ονομάζεται *θερμοβαθμίδα* και στην τροπόσφαιρα είναι 6.5°C/km. Η μέση ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας είναι περίπου 1013.25 hPa (Φλόκας, 1994). Στην τροπόσφαιρα είναι επίσης συγκεντρωμένοι σχεδόν όλοι οι υδρατμοί³ της ατμόσφαιρας. Το 75% περίπου του ατμοσφαιρικού ρευστού είναι συγκεντρωμένο στην τροπόσφαιρα. Το κατώτερο τμήμα της τροπόσφαιρας μέχρι τα 1500 m περίπου ονομάζεται *οριακό στρώμα*.

Το δεύτερο ατμοσφαιρικό στρώμα είναι η *στρατόσφαιρα*, η οποία εκτείνεται από τα 10 μέχρι τα 50 km περίπου. Κάποιες διεργασίες που αναφέρονται στα στρατοσφαιρικά νέφη συντελούνται στην κατώτερη στρατόσφαιρα. Στη στρατόσφαιρα βρίσκεται επίσης και η στοιβάδα του όζοντος, στο στρώμα μεταξύ 20–50 km από την επιφάνεια της Γης, η οποία πολλές φορές ονομάζεται *οζονόσφαιρα*. Η σημασία της στοιβάδας του όζοντος για τη διατήρηση της ζωής επάνω στον πλανήτη είναι μεγάλη, καθώς η συγκεκριμένη στοιβάδα απορροφά την επιβλαβή για τη ζωή υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία⁴ σε ποσοστό που υπερβαίνει το 95%. Η θερμοκρασία, ενώ από τα 10–20 km είναι σταθερή, στη συνέχεια αυξάνεται μέχρι το ύψος της στρατόπαυσης, όπου η ατμοσφαιρική πίεση είναι 1 hPa. Το 24% περίπου του ατμοσφαιρικού ρευστού είναι συγκεντρωμένο στη στρατόσφαιρα. Η στρατόσφαιρα χαρακτηρίζεται από τη σχεδόν ολοκληρωτική απουσία υδρατμών, ενώ παρατηρούνται μόνο οριζόντιοι άνεμοι, οι οποίοι είναι σχεδόν παράλληλοι με την επιφάνεια της Γης. Αυτή η απουσία κατακόρυφων κινήσεων του αέρα και των νεφών παρέχει καλή ορατότητα στους πιλότους.

Το τρίτο ατμοσφαιρικό στρώμα είναι η *μεσόσφαιρα*, που εκτείνεται από τα 50 έως τα 85 km περίπου. Στο στρώμα αυτό η θερμοκρασία ελαττώνεται σταθερά με το ύψος. Η ατμοσφαιρική πίεση στο στρώμα αυτό ελαττώνεται 100 φορές (0.01 hPa στο ύψος της μεσόπαυσης). Το κύριο χαρακτηριστικό του στρώματος αυτού είναι η παρουσία λίγων μορίων αέρα. Εδώ «καίγονται» οι εισερχόμενοι από το διάστημα μετεωρίτες. Το στρώμα αυτό παίζει σημαντικό ρόλο στις ραδιοεπικοινωνίες,

³ Νερό σε αέρια φάση.

⁴ Είναι η ακτινοβολία με μήκη κύματος από 200–315 nm.

επειδή η ηλιακή ακτινοβολία προκαλεί ιονισμό των μορίων μετατρέποντάς τα σε φορτισμένα ιόντα. Τα ιόντα αυτά σχηματίζουν την D-ζώνη, που ανακλά τα ραδιοκύματα από τη Γη.

Το τέταρτο ατμοσφαιρικό στρώμα είναι η *θερμόσφαιρα*, που εκτείνεται από τα 85 km περίπου. Οι απόψεις διίστανται για το πραγματικό ύψος της επειδή ορισμένοι συγγραφείς θεωρούν ότι φτάνει τα 350–550 km. Το κύριο χαρακτηριστικό του στρώματος αυτού είναι η παρουσία πολύ λίγων μορίων αέρα. Είναι πολύ ευαίσθητη στην ηλιακή δραστηριότητα και σε αυτή εμφανίζεται το Βόρειο και Νότιο Σέλας⁵ (Σχήμα 1.3α). Η θερμοκρασία συνεχίζει να αυξάνεται και μπορεί να φτάσει ή και να υπερβεί τους 1500°C. Η θερμοκρασία επηρεάζεται από την ηλιακή δραστηριότητα και παρουσιάζει μεγάλη μεταβλητότητα. Όμως οι θερμοκρασίες αυτές αναφέρονται μόνο σε μόρια. Είναι αξιοσημείωτο ότι, λόγω του πολύ μικρού αριθμού μορίων αέρα στο στρώμα αυτό, ο υπολογισμός της θερμοκρασίας μπορεί να γίνει μόνο με την εφαρμογή της κινητικής θεωρίας των αερίων.

Στο στρώμα αυτό συνεχίζεται ο ιονισμός των μορίων του αέρα και η δημιουργία φορτισμένων ιόντων που συγκεντρώνονται σε δύο ζώνες (E και F). Οι ζώνες αυτές, όπως και η D, ανακλούν τα ραδιοκύματα και επηρεάζουν τις ραδιοεπικοινωνίες. Στην ανώτερη θερμόσφαιρα σχηματίζονται και οι ζώνες Van Allen^{6, 7} (Σχήμα 1.3β).

Τέλος, η εξώσφαιρα χαρακτηρίζεται από πολύ λίγα μόρια, τα οποία βαθμιαία δραπετεύουν στο κοσμικό διάστημα. Το πάχος της εκτείνεται από το ύψος της θερμόπαυσης μέχρι το σημείο όπου η βαρύτητα της Γης δεν μπορεί πλέον να συγκρατήσει τα τελευταία μόρια της ατμόσφαιρας. Η κινητική ενέργεια των ιόντων των αερίων στην εξώσφαιρα πιθανόν να αντιστοιχεί σε θερμοκρασίες 2500°C. Η θερμοκρασία αυτή οφείλεται σε συγκρούσεις με τα σωματίδια της κοσμικής ακτι-

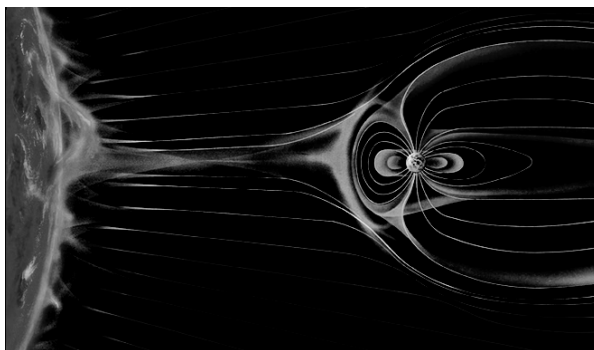
⁵ Το Σέλας δημιουργείται από τον βομβαρδισμό των υψηλών ατμοσφαιρικών στρωμάτων από ηλεκτρόνια τα οποία προέρχονται από ρεύματα φορτισμένων σωματίων (κυρίως από πυρήνες υδρογόνου και ηλεκτρόνια) από τον Ήλιο. Τα ηλεκτρόνια που διεισδύουν στα υψηλά στρώματα διεγείρουν τα άτομα του οξυγόνου και του αζώτου που υπάρχουν σε εκείνα τα ύψη. Η διέγερση αυτή γίνεται με τη μετατόπιση των ηλεκτρονίων αυτών των ατόμων, τα οποία όμως όταν επανέλθουν στην αρχική τους κατάσταση, εκπέμπουν φως που είναι χαρακτηριστικό για κάθε αέριο. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται κυρίως σε ύψος από 100–500 km από το έδαφος και είναι φαντασμαγορικό. Εμφανίζεται τόσο σε βόρεια όσο και νότια μεγάλα γεωγραφικά πλάτη.

⁶ Πρόκειται για περιοχές με σωματίδια με μεγάλο ηλεκτρικό φορτίο, που φέρονται να παγιδεύτηκαν από το γήινο μαγνητικό πεδίο.

⁷ James Alfred Van Allen (1914–2006): Αμερικανός φυσικός που δίδαξε φυσική στο Πανεπιστήμιο της Iowa από το 1951 μέχρι το 1985. Ανακάλυψε τις ζώνες που φέρουν το όνομά του.



(α)



(β)

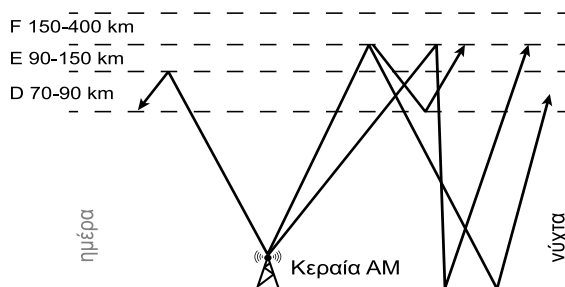
Σχήμα 1.3 (α) Φωτογραφία από το Βόρειο Πολικό Σέλας στην Εσθονία από τον Kristian Pickner (CC BY-SA 4.0, 10 Οκτωβρίου 2015, ελεύθερο αδείας), (β) Σχηματική αναπαράσταση των Ζωνών Van Allen (Artistic view of the Van Allen radiation belts (Credit: NASA), ημερ. πρόσβασης 12 Οκτωβρίου 2015, με άδεια από τον συγγραφέα).

νοβολίας⁸. Αντιθέτως, τη νύχτα η θερμοκρασία των σωματιδίων στην εξώσφαιρα μειώνεται σχεδόν στο απόλυτο μηδέν.⁹

Το τμήμα της ανώτερης ατμόσφαιρας της Γης, που εκτείνεται από τα 70 έως τα 400 km περίπου και περιέχει άτομα που έχουν ιονιστεί από την ηλιακή ακτινοβολία ονομάζεται **ιονόσφαιρα**. Η ιονόσφαιρα, που κυρίως βρίσκεται στην κατώτερη θερμόσφαιρα, χωρίζεται σε τρεις περιοχές, την περιοχή D (70–90 km), την περιοχή E (90–150 km) και την περιοχή F (150–400 km), η οποία υποδιαιρείται σε

⁸ Η υψηλής ενέργειας ακτινοβολία που έρχεται στη Γη από το εξωτερικό διάστημα. Έχει προέλευση τον Ήλιο, καθώς και άλλες αστρικές πηγές. Αύξηση της κοσμικής ακτινοβολίας παρατηρείται κατά τις εξάρσεις της ηλιακής δραστηριότητας.

⁹ Θερμοκρασία -273.15°C περίπου. Είναι η θερμοκρασία που παύει η κίνηση των μορίων.



Σχήμα 1.4 Οι θέσεις των τριών περιοχών ιονισμένων σωματιδίων (D, E, F) της ιονόσφαιρας την ημέρα και τη νύκτα.

δύο υποπεριοχές F1 και F2. Η συγκέντρωση των ιονισμένων ατόμων είναι μέγιστη στην F και ελάχιστη στην περιοχή D. Η ιονόσφαιρα είναι χρήσιμη για τη μετάδοση των ραδιοκυμάτων, τα οποία κανονικά διαδίδονται σε ευθείες γραμμές, ανακλώνται από τα ιονισμένα σωματίδια και έτσι διαδίδονται σε μεγάλες αποστάσεις στην επιφάνεια της Γης (Σχήμα 1.4).

Πάνω από την ιονόσφαιρα εκτείνεται η **μαγνητόσφαιρα** (αν και ορισμένοι συγγραφείς τη θεωρούν ανώτερο τμήμα της ιονόσφαιρας). Πρόκειται για την περιοχή στην οποία τα φορτισμένα σωματίδια επηρεάζονται από το μαγνητικό πεδίο της Γης. Κοντά στην επιφάνεια της Γης οι γραμμές του μαγνητικού πεδίου μοιάζουν με εκείνες που προκαλούνται από ένα ιδανικό μαγνητικό δίπολο. Υψηλότερα όμως συμπιέζονται και παραμορφώνονται από τον ηλιακό άνεμο,¹⁰ με αποτέλεσμα να λαμβάνουν ατρακτοειδές σχήμα. Ένα μέρος της μαγνητόσφαιρας είναι και οι ζώνες Van Allen. Η μαγνητόσφαιρα λειτουργεί σαν μια ασπίδα που προστατεύει τη ζωή στη Γη από τη φονική κοσμική ακτινοβολία.

Η παραπάνω διαίρεση της ατμόσφαιρας βασίζεται στην παράμετρο της θερμοκρασίας, όμως θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε και άλλες παραμέτρους ως βάση για να ορίσουμε ατμοσφαιρικά στρώματα. Ένας τέτοιος τρόπος μπορεί να βασίζεται στη σταθερή ή μεταβλητή σύνθεση του ατμοσφαιρικού αέρα. Έτσι ορίζουμε δύο στρώματα στην ατμόσφαιρα: την **ομοιόσφαιρα**, που εκτείνεται από την επιφάνεια έως τα 100 km και είναι περίπου σταθερής χημικής σύνθεσης (εκτός από τους υδρατμούς και τα αέρια σε ίχνη), και την **ετερόσφαιρα**, που εκτείνεται πάνω από τα 100 km (σε αυτήν ο αέρας είναι μεταβλητής σύνθεσης).

¹⁰ Ο ηλιακός άνεμος είναι ένα ρεύμα φορτισμένων σωματιδίων (κυρίως πρωτόνια και ηλεκτρόνια) που εκτοξεύεται από την ανώτερη ατμόσφαιρα του Ήλιου.

1.2 Η σύσταση της ατμόσφαιρας

Η ατμόσφαιρα της Γης αποτελείται κυρίως από δύο στοιχεία, το άζωτο (N_2) και το οξυγόνο (O_2). Αυτά τα δύο στοιχεία αποτελούν περίπου το 99% της ατμόσφαιρας. Τα άλλα συστατικά της κατώτερης ατμόσφαιρας (μέχρι τα 25 km περίπου από την επιφάνεια της Γης) παρουσιάζονται στους παρακάτω Πίνακες 1.2 και 1.3. Μια τυπική ατμόσφαιρα απαλλαγμένη από υδρατμούς, συνεπώς μια **ξηρή ατμόσφαιρα**, έχει τη σύσταση που φαίνεται σε αυτούς τους πίνακες (Ahrens, 2001).

Ο Πίνακας 1.2 παρουσιάζει τη σύσταση % κατ' όγκο των μόνιμων συστατικών μιας τυπικής ατμόσφαιρας, μαζί με τον χημικό συμβολισμό, το μοριακό βάρος και τη σύσταση.

Ο Πίνακας 1.3 παρουσιάζει τη σύσταση % κατ' όγκο των μεταβλητών συστατικών μιας τυπικής ατμόσφαιρας, μαζί με τον χημικό συμβολισμό, το μοριακό βάρος και τη σύσταση.

Φυσικά, στην ατμόσφαιρα υπάρχουν σε ίχνη και άλλα αέρια, που δεν περιλαμβάνονται στον Πίνακα 1.3. Η ατμοσφαιρική συγκέντρωση για τα διάφορα συστατικά της ατμόσφαιρας είναι εξόχως μεταβλητή και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την περιοχή στην οποία μετρώνται τα διάφορα συστατικά. Η πραγματική ατμόσφαιρα βεβαίως δεν είναι ξηρή, αλλά περιέχει μια ποσότητα υδρατμών (μεγάλη ή μικρή). Συνολικά, οι υδρατμοί (νερό σε αέρια μορφή) αποτελούν το 1–5% των ατμοσφαιρικών αερίων και εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την περιοχή και το τοπικό κλίμα.

Πίνακας 1.2 Η σύσταση μιας τυπικής ξηρής ατμόσφαιρας (μόνιμα συστατικά).

Συστατικό	Χημικός συμβολισμός	Μοριακό βάρος	% κατ' όγκο (ξηρός αέρας)
Άζωτο	N_2	28.01	78.08
Οξυγόνο	O_2	31.99	20.95
Αργό*	Ar	39.95	0.93
Νέον*	Ne	20.18	0.0018
Ήλιο*	He	4.00	0.0005
Υδρογόνο	H_2	2.01	0.00006
Κρυπτόν*	Kr	83.80	0.0011
Ξένο*	Xe	131.30	0.00009
Μεθάνιο	CH_4	16.04	0.0002

* Αδρανή αέρια υπό κανονικές συνθήκες πίεσης (1 atm) και θερμοκρασίας ($0^\circ C$).

Πίνακας 1.3 Η σύσταση μιας τυπικής ξηρής ατμόσφαιρας (μεταβλητά συστατικά^{*}).

Συστατικό	Χημικός συμβολισμός	Μοριακό βάρος	% κατ' όγκο (ξηρός αέρας)
Διοξείδιο του άνθρακα	CO ₂	44.00	0.033
Όζον	O ₃	47.99	0.001
Διοξείδιο του θείου	SO ₂	64.00	0.000002
Διοξείδιο του αζώτου	NO ₂	60.00	0.0000001
Υποξείδιο του αζώτου	N ₂ O	44.00	0.00005
Μονοξείδιο του άνθρακα	CO	28.00	0.00001
Αμμωνία	NH ₃	17.00	0.000001

^{*} Το ποσοστό τους είναι συνάρτηση του τόπου και των ατμοσφαιρικών συνθηκών.

Το CO₂ είναι φυσικό συστατικό της ατμόσφαιρας, όμως η αναλογία του στον ατμοσφαιρικό αέρα συνεχώς μεταβάλλεται και μάλιστα έχει υπερδιπλασιαστεί τα τελευταία 200 χρόνια λόγω των τεράστιων εκπομπών CO₂, εξαιτίας των καύσεων στερεών και υγρών καυσίμων σε όλο τον πλανήτη (Σχήμα 1.5). Με το αέριο αυτό θα ασχοληθούμε αναλυτικά στο Κεφάλαιο 13.

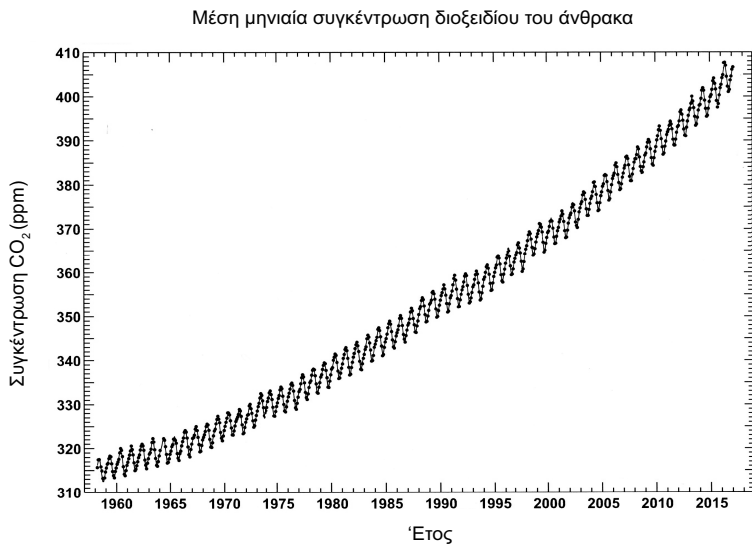
Η ατμόσφαιρα από πλευράς πυκνότητας αποτελεί μόνο το 2% της γήινης πυκνότητας (θεωρώντας ότι η Γη είναι σφαίρα με ακτίνα 6400 km).

1.3 Ιδιότητες της ατμόσφαιρας

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται συνοπτικά μερικές βασικές μετεωρολογικές παράμετροι που είναι χρήσιμες για την κατανόηση των επόμενων κεφαλαίων. Στον Πίνακα 1.4 παρουσιάζονται οι τιμές μερικών χαρακτηριστικών μεγεθών της γήινης ατμόσφαιρας.

Η **πυκνότητα** του ατμοσφαιρικού ρευστού έχει ήδη αναφερθεί προηγουμένως.

Ατμοσφαιρική ή βαρομετρική πίεση ονομάζεται η πίεση που ασκεί μια στήλη ατμοσφαιρικού αέρα με το βάρος της σε μια μοναδιαία επιφάνεια (π.χ. 1 cm²) στην επιφάνεια της θάλασσας. Όπως έχουμε αναφέρει, η ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας, σε μια αδιατάρακτη ατμόσφαιρα, είναι ίση με 1013.25 hPa. Η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνεται με το ύψος, αλλά μεταβάλλεται και οριζόντια (Σχήμα 1.6). Η οριζόντια μεταβολή είναι πολύ μικρότερη της κατακόρυφης. Όταν σε κάποιο σημείο έχουμε υψηλή ατμοσφαιρική πίεση και σε κάποιο άλλο χαμηλή, τότε λέμε ότι υπάρχει βαροβαθμίδα και αέριες μάζες μεταφέρονται από τα σημεία υψηλής στα σημεία χαμηλής πίεσης. Η βαροβαθμίδα είναι ένα διανυσματικό μέγε-

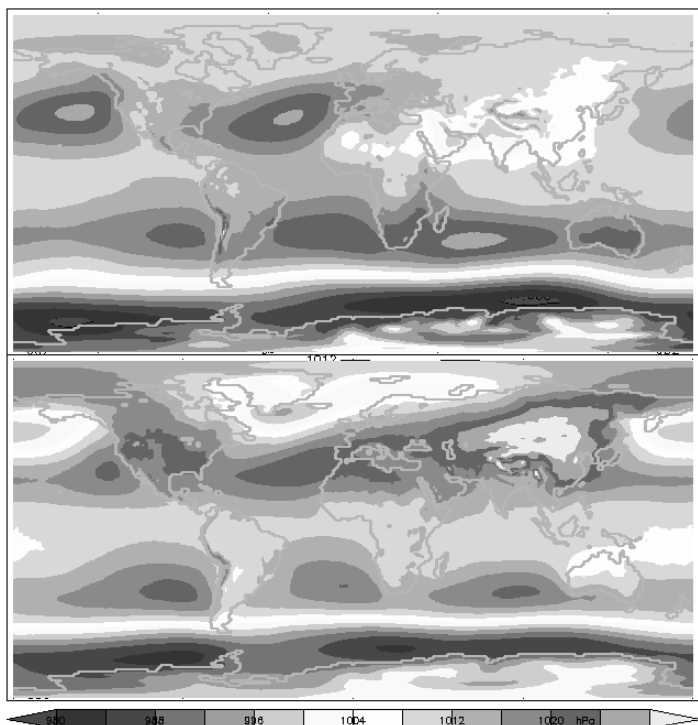


Σχήμα 1.5 Μετρήσεις του CO₂ στο Αστεροσκοπείο του όρους Mauna Loa, στη Χαβάη, από το 1958 έως το 2017. Η τεθλασμένη γραμμή δείχνει την εποχική μεταβολή του CO₂, που είναι μικρότερη το καλοκαίρι και μεγαλύτερη τον χειμώνα. Η ευθεία γραμμή δείχνει την ετήσια αύξηση της μέσης τιμής του αερίου. Scripps Institution of Oceanography, UC San Diego με άδεια από τον συγγραφέα.

Πίνακας 1.4 Τιμές μερικών χαρακτηριστικών μεγεθών της γήινης ατμόσφαιρας.

Πυκνότητα του αέρα στην επιφάνεια (ρ)	1.293 kg m^{-3}
Σταθερά τέλειων αερίων (R)	$0.08206 \text{ L atm mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Σταθερά τέλειων αερίων (R)	$8.3143 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
Επιτάχυνση της βαρύτητας (g)	9.8 m sec^{-2}
Πίεση του αέρα στην επιφάνεια της θάλασσας (P_0)	1013.25 hPa
Μέση μάζα της ξηρής ατμόσφαιρας	$5.135 \times 10^{18} \text{ kg}$
Μέση μάζα των υδρατμών στην ατμόσφαιρα	$1.27 \times 10^{16} \text{ kg}$
Επιφανειακή θερμοκρασία (T_{surf})	15°C
Αριθμός του Avogadro (N)	$6.022 \times 10^{23} \text{ μόρια mol}^{-1}$

θος που δείχνει τη φορά της κίνησης. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται οι άνεμοι. Η ατμοσφαιρική πίεση γενικά εξαρτάται και από τη διανομή ξηράς-θάλασσας, το γεωγραφικό πλάτος και την τοπογραφία, ενώ παρουσιάζει ετήσια και ημερήσια κύμανση. Εκτός των παραπάνω οριζόντιων και κατακόρυφων μεταβολών παρατη-



Σχήμα 1.6 Μέση ετήσια ατμοσφαιρική πίεση στη επιφάνεια της θάλασσας για Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο (κορυφή) και Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο (βάση) με χρήση δεδομένων 15 ετών, 1979–1994 (ECMWF ERA-15 Reanalysis). https://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric_pressure, ημερ. πρόσβασης 5 Νοεμβρίου 2015, William Connolley.

ρείται κατά τη διάρκεια της ημέρας, υπό ομαλή βεβαίως καιρική κατάσταση, η ημερήσια μεταβολή, κατά την οποία η ατμοσφαιρική πίεση παρουσιάζει διπλή κύμανση, με μέγιστη τιμή κατά τις ώρες 10.00 και 22.00 Τοπική ώρα (ΤΩ) και ελάχιστη κατά τις ώρες 04.00 και 16.00 ΤΩ, ενώ όταν αυξάνεται το γεωγραφικό πλάτος, ελαττώνεται (Κατσούλης, 2000). Τα σημεία που χαρακτηρίζονται από την ίδια ατμοσφαιρική πίεση ονομάζονται ισοβαρικά· μπορούμε να τα συνδέσουμε με καμπύλες που ονομάζονται ισοβαρείς. Αν τα σημεία αυτά συνθέτουν μια επιφάνεια, τότε αυτή ονομάζεται ισοβαρική επιφάνεια. Έτσι, ορίζουμε ισοβαρικές επιφάνειες (στάθμες), όπως τα 1000, 925, 850, 700, 500, 300, 200, 100 hPa κ.ο.κ.

Μια άλλη σημαντική μετεωρολογική παράμετρος είναι η **θερμοκρασία** της ατμόσφαιρας. Η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας, όπως έχει ήδη αναφερθεί, ελαττώνεται με το ύψος στην τροπόσφαιρα και μάλιστα έχει παρατηρηθεί ότι ο ρυθ-

ΦΥΣΙΚΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Στο βιβλίο αυτό παρουσιάζονται ορισμένα σημαντικά κεφάλαια από τη Φυσική του Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος, υπό το πρίσμα της επίδρασης των ατμοσφαιρικών διεργασιών στη διασπορά και διάχυση των ατμοσφαιρικών ρυπαντών οι οποίοι προέρχονται από διάφορες πηγές. Ο συγγραφέας διδάσκει το αντικείμενο επί 17 έτη, σε προπτυχιακό και μεταπτυχιακό επίπεδο, και το βιβλίο έχει βασιστεί στις σημειώσεις διδασκαλίας και την ανταπόκριση των φοιτητών σε αυτές.

Εξετάζονται στοιχεία από τη φυσική του εδάφους και των υδάτων, καθώς και θέματα που αφορούν τα ηχητικά κύματα, τον θόρυβο και τις ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες, ιονίζουσες και μη. Ένα χωριστό κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στο επίκαιρο ζήτημα της κλιματικής μεταβολής, με όλες τις τελευταίες εξελίξεις, ενώ γίνεται αναφορά και στην επίδραση του περιβάλλοντος στην υγεία.

Στο σύνολό του, το βιβλίο έρχεται να καλύψει το συγκεκριμένο γνωστικό αντικείμενο όπως διδάσκεται σε πολλά ελληνικά Πανεπιστήμια, καθώς η διαθέσιμη ενημερωμένη ελληνόγλωσση βιβλιογραφία είναι σχετικά περιορισμένη. Απευθύνεται σε φοιτητές των τμημάτων Φυσικής και Χημείας των σχολών θετικών επιστημών των Πανεπιστημίων, αλλά και σε φοιτητές Πολυτεχνικών Σχολών και των αντίστοιχων τμημάτων των ΤΕΙ, καθώς και σε κάθε ενδιαφερόμενο για τα θέματα αυτά.

Ο συγγραφέας

Ο **Παύλος Κασσωμένος** είναι Καθηγητής στο τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, όπου διδάσκει το μάθημα της Φυσικής Περιβάλλοντος από το 2000. Σπούδασε στα Πανεπιστήμια Πατρών και Αθηνών, όπου και εκπόνησε τη διδακτορική του διατριβή, και μετεκπαιδεύτηκε στο Πανεπιστήμιο του Birmingham και το King's College του Λονδίνου. Το έτος 1999 δίδαξε το μάθημα της Περιβαλλοντικής Μετεωρολογίας στο Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης.



ΕΚΔΟΣΕΙΣ
ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ

Δομοκού 4, Σταθμός Λαρίσης, 10440 ΑΘΗΝΑ, Τηλ. 210-5237635
info@klidarithmos.gr www.klidarithmos.gr
www.facebook.com/klidarithmos.gr



ISBN 978-960-461-790-6

