



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

# Φυσικό Περιβάλλον και Ρύπανση



Τόμος Γ΄

## Η Ατμόσφαιρα

## ως Αποδέκτης Αποβλήτων

Ιωάννης Ζιώμας  
Εμμανουέλα Ρεμουντάκη



## Η Ατμόσφαιρα ως Αποδέκτης Αποβλήτων

### **Σημείωση**

*Το ΕΑΠ είναι υπεύθυνο για την επιμέλεια έκδοσης και την ανάπτυξη των κειμένων σύμφωνα με τη Μεθοδολογία της εξ Αποστάσεως Εκπαίδευσης. Για την επιστημονική αριότητα και πληρότητα των συγγραμμάτων την αποκλειστική ευθύνη φέρουν οι συγγραφείς, κριτικοί αναγνώστες και ακαδημαϊκοί υπεύθυνοι που ανέλαβαν το έργο αυτό.*

### **Σημείωση**

*Οι εικόνες οι οποίες έχουν περιληφθεί στον παρόντα τόμο χρησιμοποιούνται για καθαρά εκπαιδευτικούς σκοπούς και υποκαθιστούν την προβολή εικαστικού υλικού στο πλαίσιο μιας διάλεξης. Παρά τίθενται μόνο για προσωπική χρήση των φοιτητών του ΕΑΠ και συνοδεύονται από αναφορά της πηγής ή/και του δημιουργού τους. Οι εικόνες έχουν αναπαραχθεί σε τέτοιο μέγεθος ώστε αυτό να επαρκεί για την κατανόηση του τρόπου χρήσης των λέξεων, των συμβόλων και γενικά του περιεχομένου τους.*

*Απαγορεύεται η ανατύπωση και κάθε μορφής αναπαραγωγή του παρόντος τόμου, ο οποίος προορίζεται αποκλειστικά για τη διδασκαλία και τις εξετάσεις των φοιτητών του ΕΑΠ. Διανέμεται δωρεάν μόνο στους δημιουργούς του διδακτικού υλικού, στους εγγεγραμμένους φοιτητές του ΕΑΠ και στο αντίστοιχο διδακτικό προσωπικό και δεν διατίθεται προς πώληση.*



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας

*Πρόγραμμα Σπουδών*  
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

*Θεματική Ενότητα*  
ΦΥΣΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΡΥΠΑΝΣΗ

*Τόμος Γ'*

# Η Ατμόσφαιρα ως Αποδέκτης Αποβλήτων

**ΙΩΑΝΝΗΣ ΖΙΩΜΑΣ**

Αναπληρωτής Καθηγητής Τομέα Σχεδιασμού  
και Ανάπτυξης Διεργασιών και Συστημάτων  
Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

**ΕΜΜΑΝΟΥΕΛΑ ΡΕΜΟΥΝΤΑΚΗ**

Υπεύθυνη Εργαστηρίου Επιστήμης και Τεχνολογίας  
Προστασίας του Περιβάλλοντος στη Μεταλλουργία  
και Τεχνολογία Υλικών – Σχολή Μηχανικών  
Μεταλλείων - Μεταλλουργών  
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

ΠΑΤΡΑ 2003

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας  
*Πρόγραμμα Σπουδών*  
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ  
*Θεματική Ενότητα*  
ΦΥΣΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΡΥΠΑΝΣΗ  
*Τόμος Γ'*  
**Η Ατμόσφαιρα ως Αποδέκτης Αποβλήτων**

*Συγγραφή*

ΙΩΑΝΝΗΣ ΖΙΩΜΑΣ

Αναπληρωτής Καθηγητής Τομέα Σχεδιασμού και  
Ανάπτυξης Διεργασιών και Συστημάτων  
Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

ΕΜΜΑΝΟΥΕΛΑ ΡΕΜΟΥΝΤΑΚΗ

Υπεύθυνη Εργαστηρίου Επιστήμης και Τεχνολογίας  
Προστασίας του Περιβάλλοντος στη Μεταλλουργία και Τεχνολογία  
Υλικών – Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργιών  
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

*Κριτική Ανάγνωση*

ΧΑΡΗΣ ΚΑΜΠΕΖΙΔΗΣ

Διευθυντής Ερευνών

Ομάδα Ατμοσφαιρικής Έρευνας στο  
Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος  
και Βιώσιμης Ανάπτυξης – Εθνικό  
Αστεροσκοπείο Αθηνών

*Ακαδημαϊκός Υπεύθυνος για την επιστημονική επιμέλεια του τόμου*

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΦΕΡΕΝΤΙΝΟΣ

Καθηγητής Τμήματος Γεωλογίας Πανεπιστημίου Πατρών

*Επιμέλεια στη μέθοδο της εκπαίδευσης από απόσταση*

ΟΥΡΑΝΙΑ ΜΠΟΥΣΙΟΥ

*Γλωσσική Επιμέλεια*

ΣΤΕΦΑΝΟΣ ΣΚΑΡΠΕΛΟΣ

*Τεχνική Επιμέλεια*

ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΚΟΥΤΣΟΥΜΠΟΣ

*Καλλιτεχνική Επιμέλεια, Σελιδοποίηση*



*Συντονισμός ανάπτυξης εκπαιδευτικού υλικού και γενική επιμέλεια των εκδόσεων*

ΟΜΑΔΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΕΡΓΟΥ ΕΑΠ / 1997-2003

ISBN: 960-538-523-6

Κωδικός Έκδοσης: 50/3

Copyright 2003 για την Ελλάδα και όλο τον κόσμο

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Οδός Παπαφλέσσα & Υψηλάντη, 26222 Πάτρα – Τηλ: 2610 314094, 314206 Φαξ: 2610 317244

Σύμφωνα με το Ν. 2121/1993, απαγορεύεται η συνολική ή αποσπασματική αναδημοσίευση του βιβλίου αυτού ή η αναπαραγωγή του με οποιοδήποτε μέσο χωρίς την άδεια του εκδότη.

## Περιεχόμενα

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

#### Μετεωρολογία και διασπορά αερίων ρύπων στην ατμόσφαιρα

#### I. Ζώμας

---

Εισαγωγή.....	9
Σκοπός, Προσδοκώμενα αποτελέσματα, Έννοιες κλειδιά, Εισαγωγικές παρατηρήσεις.....	11
1.1 Αλληλεπιδράσεις Ηλίου - Ατμόσφαιρας .....	14
1.2 Συνθήκες ευστάθειας και αστάθειας.....	23
1.3 Μεταφορά αερίων μαζών .....	30
1.4 Τοπικά συστήματα κυκλοφορίας .....	36
1.5 Κριτήρια εγκλωβισμού και διασποράς αερίων ρύπων .....	42
1.6 Μηχανισμοί απομάκρυνσης αερίων ρύπων .....	44
1.7 Ο τρισδιάστατος άνεμος.....	46
1.8 Ατμοσφαιρικές αναταράξεις .....	48
1.9 Διασπορά των αερίων ρύπων – Μαθηματικά μοντέλα διασποράς .....	49
1.9.1 Διασπορά κατά <i>Gauss</i> .....	53
1.9.2 Διασπορά κατά <i>Lagrange</i> .....	54
1.9.3 Διασπορά κατά <i>Euler</i> .....	57
1.9.4 Διασπορά των αδρανών ρύπων.....	63
1.9.5 Διασπορά των μη αδρανών ρύπων .....	64
1.9.6 Μεθοδολογία αξιολόγησης των μοντέλων διασποράς .....	72
Σύνοψη .....	75
Παράρτημα .....	76
Βιβλιογραφία .....	92

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

**Η ατμόσφαιρα: σύσταση και φυσικά χαρακτηριστικά***E. Ρεμουντάκη*

<i>Σκοπός, Προσδοκώμενα αποτελέσματα, Έννοιες κλειδιά,</i>	
<i>Εισαγωγικές παρατηρήσεις.....</i>	95
2.1 Σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα .....	98
2.2 Εκφράσεις συγκεντρώσεων συστατικών και ρύπων στην ατμόσφαιρα...103	
2.3 Ρυπασμένη και μη ατμόσφαιρα .....	106
2.4 Τα φυσικά χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας .....	113
<i>Σύνοψη .....</i>	124
<i>Βιβλιογραφία προαιρετικής ανάγνωσης .....</i>	128

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

**Αέριοι ρύποι στην ατμόσφαιρα – Τροποσφαιρική χημεία***E. Ρεμουντάκη*

<i>Σκοπός, Προσδοκώμενα αποτελέσματα, Έννοιες κλειδιά,</i>	
<i>Εισαγωγικές παρατηρήσεις.....</i>	131
3.1 Ατμοσφαιρικοί ρύποι και όρια ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα.....135	
3.2 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO) .....	139
3.3 Οξείδια του θείου (SO <sub>x</sub> ).....	141
3.4 Οξείδια του αζώτου (NO <sub>x</sub> ).....	146
3.5 Υδρογονάνθρακες στην ατμόσφαιρα – Φωτοχημικό νέφος .....	150
3.5.1 Υδρογονάνθρακες στην ατμόσφαιρα .....	150
3.5.2 Φωτοχημικό νέφος – Βασικές αρχές τροποσφαιρικής χημείας.....155	
3.5.3 Σύνοψη βασικών αρχών τροποσφαιρικής χημείας .....	164
<i>Σύνοψη .....</i>	168
<i>Βιβλιογραφία προαιρετικής ανάγνωσης .....</i>	172

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

**Σωματίδια στην ατμόσφαιρα***E. Ρεμουντάκη*

<i>Σκοπός, Προσδοκώμενα αποτελέσματα, Έννοιες κλειδιά, Εισαγωγικές παρατηρήσεις</i> .....	173
4.1 Σημασία της παρουσίας των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα.....	177
4.1.1 Επιπτώσεις των ατμοσφαιρικών σωματιδίων στην υγεία.....	178
4.1.2 Ο ρόλος των αερολυμάτων στους βιογεωχημικούς κύκλους των στοιχείων.....	182
4.1.3 Ο ρόλος των αερολυμάτων στη διαμόρφωση του κλίματος.....	184
4.2 Τρόποι ταξινόμησης των σωματιδίων.....	188
4.3 Πηγές σωματιδίων στην ατμόσφαιρα.....	189
4.4 Μηχανισμοί γένεσης αερολυμάτων.....	200
4.4.1 Μηχανισμοί μετατροπών σωματιδίων στην ατμόσφαιρα.....	201
4.5 Σύσταση ατμοσφαιρικών σωματιδίων.....	206
4.5.1 Σύσταση ανόργανων σωματιδίων.....	206
4.5.2 Σύσταση οργανικών σωματιδίων.....	209
4.6 Φυσικά χαρακτηριστικά ατμοσφαιρικών σωματιδίων.....	212
4.6.1 Ταχύτητα κατακρήμνισης σωματιδίων – Ο νόμος του <i>Stokes</i> .....	214
4.6.2 Αεροδυναμική διάμετρος σωματιδίων.....	222
4.6.3 Χρόνος παραμονής σωματιδίων στην ατμόσφαιρα.....	223
4.6.4 Συναρτήσεις κατανομών μεγέθους.....	225
4.6.5 Κατανομές κατά βάρος και αριθμό.....	235
4.7 Αποχωρισμός σωματιδίων από την ατμόσφαιρα.....	237
4.7.1 Σύσταση υγρών κατακρημνίσεων – Συνέπειες για τα οικοσυστήματα.....	241
4.8 Μεθοδολογία συλλογής και προσδιορισμού ιδιοτήτων των ατμοσφαιρικών σωματιδίων.....	244
4.8.1 Κριτήρια επιλογής θέσης δειγματοληψίας ατμοσφαιρικών σωματιδίων.....	244



---

4.8.2 Όργανα απ' ευθείας ανάγνωσης .....	246
4.8.3 Συσκευές δειγματοληψίας ατμοσφαιρικών σωματιδίων .....	250
4.8.4 Μέθοδοι προσδιορισμού σύστασης σωματιδίων.....	260
Σύνοψη.....	266
<i>Βιβλιογραφία προαιρετικής ανάγνωσης .....</i>	<i>277</i>
<i>Απαντήσεις Ασκήσεων Αυτοαξιολόγησης .....</i>	<i>281</i>
<i>Γλωσσάρι .....</i>	<i>301</i>
<i>Παράρτημα.....</i>	<i>309</i>