

---

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

## ΤΟΜΟΣ Ι

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>1</b>
<b>1 ΟΙ ΒΑΣΙΚΟΙ ΝΟΜΟΙ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ</b>	<b>7</b>
1.1 Μονάδες και σύμβολα φυσικών μεγεθών	7
1.2 Προθέματα φυσικών μεγεθών	13
1.3 Αγωγοί, μονωτικά υλικά, ηλεκτρικές δράσεις	13
1.4 Νόμος του Coulomb	17
1.5 Δυνάμεις σε σύστημα πολλών σημειακών φορτίων	24
1.6 Διανεμημένα ηλεκτρικά φορτία	27
1.7 Δυνάμεις σε σύστημα σημειακών και διανεμημένων φορτίων	29
1.8 Πεδίο – Γενικοί ορισμοί	32
1.9 Ηλεκτρική πεδιακή ένταση $E$	33
1.10 Το έργο των δυνάμεων του ηλεκτρικού πεδίου	41
1.11 Ο νόμος του αστροβίλου του ηλεκτρικού πεδίου	43
1.12 Η περιστροφή της ηλεκτρικής έντασης $E$	49
1.13 Βαθμωτό ηλεκτρικό δυναμικό	53
1.14 Σχέση μεταξύ της έντασης $E$ και του δυναμικού $\phi$	56
1.15 Η κλίση της βαθμωτής συνάρτησης $\phi$	59
1.16 Υπέρθεση δυναμικών	61
1.17 Ισοδυναμικές επιφάνειες	64
1.18 Ηλεκτρικό κέντρο βάρους	71
1.19 Πολυπολικό ανάπτυγμα δυναμικού	74
1.20 Ηλεκτρικές δυναμικές γραμμές	84
1.21 Διηλεκτρική μετατόπιση – Ηλεκτρική ροή	88
1.22 Νόμος του Gauss	90
1.23 Η απόκλιση της διηλεκτρικής μετατόπισης	100
1.24 Σωλήνες ηλεκτρικής ροής	103
1.25 Θεώρημα του Earnshaw	106
1.26 Συνθήκες στις διαχωριστικές επιφάνειες	108

Προβλήματα . . . . .	116
<b>2 ΑΓΩΓΟΙ, ΠΥΚΝΩΤΕΣ, ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ</b>	<b>123</b>
2.1 Αγωγήμα σώματα . . . . .	123
2.1.1 Το πεδίο στο εσωτερικό και στην επιφάνεια των αγωγών . .	123
2.1.2 Διανομή των φορτίων στις επιφάνειες των αγωγών . . . . .	128
2.1.3 Ηλεκτρικό πεδίο σε κοιλότητες αγωγών . . . . .	131
2.2 Το θεώρημα της αμοιβαιότητας του Green . . . . .	134
2.3 Εξισώσεις Laplace, Poisson του δυναμικού $\phi$ . . . . .	138
2.4 Πυκνωτής – Χωρητικότητα . . . . .	139
2.4.1 Χωρητικότητες απλών διατάξεων . . . . .	143
2.4.2 Συνδεσμολογίες πυκνωτών . . . . .	146
2.5 Συντελεστές δυναμικού . . . . .	149
2.6 Μερικές χωρητικότητες . . . . .	154
2.7 Χωρητικότητα λειτουργίας . . . . .	160
2.8 Ενέργεια ηλεκτρικού πεδίου . . . . .	161
2.8.1 Ενέργεια πεδίου σημειακών και διανεμημένων φορτίων . . .	161
2.8.2 Ενέργεια πεδίου συστήματος αγωγών . . . . .	163
2.8.3 Ενέργεια πυκνωτή . . . . .	164
2.8.4 Η ενέργεια ως συνάρτηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου	166
2.8.5 Η ενέργεια του πεδίου σ' ένα μη γραμμικό μέσο . . . . .	171
2.9 Το θεώρημα της ελάχιστης ενέργειας . . . . .	174
2.9.1 Απόδειξη του θεωρήματος της ελάχιστης ενέργειας . . . . .	175
2.10 Ηλεκτροστατικές δυνάμεις . . . . .	178
2.10.1 Πίεση στην επιφάνεια αγωγών . . . . .	179
2.10.2 Δυνάμεις σε συστήματα αγωγών . . . . .	182
2.10.3 Δυνάμεις στους οπλισμούς πυκνωτή . . . . .	187
2.10.4 Δύναμη σε διηλεκτρική πλάκα . . . . .	190
Προβλήματα . . . . .	192
<b>3 Η ΥΛΗ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ</b>	<b>201</b>
3.1 Πόλωση διηλεκτρικού . . . . .	201
3.2 Φορτία πόλωσης . . . . .	204
3.3 Τα πεδιακά μεγέθη σε διηλεκτρικά μέσα . . . . .	211
3.4 Συνθήκες στη διαχωριστική επιφάνεια δύο διηλεκτρικών . . . . .	213
3.5 Συνθήκες στις επιφάνειες αγωγών . . . . .	214
3.6 Σχέσεις μεταξύ των $\rho$ , $\rho_b$ και $\rho_t$ . . . . .	215
3.7 Πόλωση σε μερικές απλές διατάξεις . . . . .	216
3.7.1 Πόλωση διηλεκτρικού στο πεδίο επίπεδου πυκνωτή . . . . .	216
3.7.2 Διηλεκτρικά στρώματα μεταξύ των οπλισμών σφαιρικού πυκνωτή . . . . .	219

3.7.3	Μη ομογενές διηλεκτρικό σε κυλινδρικό πυκνωτή . . . . .	222
3.8	Δυνάμεις σε διηλεκτρικά υλικά . . . . .	225
3.8.1	Οι δυνάμεις στα φορτία του συστήματος . . . . .	225
3.8.2	Οι δυνάμεις στα δίπολα του διηλεκτρικού . . . . .	225
3.8.3	Συνολική δύναμη . . . . .	227
3.8.3.1	Η συνολική δύναμη από την κατανομή της στον χώρο . . . . .	227
3.8.3.2	Η συνολική δύναμη από την κατανομή της στην επιφάνεια – Τανυστής ηλεκτροστατικής τάσης του Maxwell . . . . .	231
3.8.3.3	Δυνάμεις στη διαχωριστική επιφάνεια δύο διηλεκτρικών . . . . .	237
3.8.3.4	‘Διαχωριστική’ δύναμη σε φορτισμένο κύλινδρο . . . . .	239
	Προβλήματα . . . . .	242
<b>4</b>	<b>ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ Η/Σ ΠΕΔΙΟΥ</b>	<b>249</b>
4.1	Εισαγωγή . . . . .	249
4.2	Το θεώρημα της μοναδικότητας . . . . .	249
4.3	Μέθοδος ηλεκτρικού κατοπτρισμού . . . . .	254
4.3.1	Φορτίο πάνω από αγωγίμο επίπεδο . . . . .	256
4.3.2	Φορτίο στη γωνία δύο τεμνόμενων αγωγίμων επιπέδων . . . . .	260
4.3.3	Φορτίο ανάμεσα σε δύο παράλληλες αγωγίμες πλάκες . . . . .	262
4.3.4	Φορτίο έξω από αγωγίμη σφαίρα . . . . .	262
4.3.5	Γραμμικό φορτίο παράλληλο προς αγωγίμο κύλινδρο . . . . .	266
4.3.6	Δύο παράλληλοι, φορτισμένοι κύλινδροι, άπειρου μήκους, με ίσες ακτίνες και αντίθετα φορτία . . . . .	272
4.3.7	Φορτισμένος κύλινδρος, παράλληλος προς αγωγίμο επίπεδο . . . . .	274
4.3.8	Υπολογισμός μερικών χωρητικοτήτων με τη μέθοδο των ηλεκτρικών ειδώλων . . . . .	276
4.3.9	Γραμμικό φορτίο παράλληλο στη διαχωριστική επιφάνεια δύο διηλεκτρικών μέσων . . . . .	279
4.4	Επίλυση προβλημάτων με συναρτήσεις μιγαδικής μεταβλητής . . . . .	281
4.4.1	Συναρτήσεις μιγαδικής μεταβλητής – Σύμμορφη απεικόνιση . . . . .	281
4.4.2	Υπολογισμός της ηλεκτρικής πεδιακής έντασης και της ηλεκτρικής ροής . . . . .	285
4.4.3	Μετασχηματισμός Schwarz-Christoffel . . . . .	290
4.5	Επίλυση προβλημάτων του πεδίου από την εξίσωση Laplace . . . . .	299
4.5.1	Μονοδιάστατα προβλήματα σε χαρακτηριστικές διατάξεις . . . . .	299
4.5.2	Διδιάστατα και τριδιάστατα προβλήματα – Μέθοδος χωρισμού μεταβλητών . . . . .	311

4.5.2.1	Χωρισμός μεταβλητών σε καρτεσιανές συντεταγμένες . . . . .	311
4.5.2.2	Χωρισμός μεταβλητών σε κυλινδρικές συντεταγμένες . . . . .	318
4.5.2.3	Χωρισμός μεταβλητών σε σφαιρικές συντεταγμένες . . . . .	326
4.6	Γραφικές και πειραματικές μέθοδοι . . . . .	334
4.7	Αριθμητικές μέθοδοι . . . . .	336
4.7.1	Εισαγωγή στη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών . . . . .	337
4.7.2	Σύντομη εισαγωγή στη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων . . . . .	348
4.7.2.1	Τα βασικά βήματα της μεθόδου . . . . .	348
4.7.2.2	Απλό αριθμητικό παράδειγμα . . . . .	356
4.7.3	Μέθοδος ροπών . . . . .	360
4.7.3.1	Συναρτήσεις βάσης . . . . .	361
4.7.3.2	Συναρτήσεις βάρους . . . . .	364
	Προβλήματα . . . . .	372
<b>5</b>	<b>ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΡΟΗΣ ΜΟΝΙΜΩΝ ΡΕΥΜΑΤΩΝ</b>	<b>381</b>
5.1	Εισαγωγικά . . . . .	381
5.2	Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος – Πυκνότητα ρεύματος . . . . .	382
5.3	Εξίσωση συνέχειας . . . . .	384
5.4	Νόμος του Ohm . . . . .	387
5.5	Συνδεσμολογίες αντιστάσεων . . . . .	393
5.6	Ηλεκτροστατική ισορροπία . . . . .	395
5.7	Ηλεκτρεγερτική δύναμη . . . . .	397
5.8	Οι νόμοι του Kirchhoff . . . . .	400
5.9	Εξίσωση Laplace και οριακές συνθήκες . . . . .	402
5.10	Αγωγός μεταβλητής διατομής . . . . .	408
5.11	Υπολογισμός αντίστασης αγωγού μεταβλητής διατομής . . . . .	410
5.12	Αμφίπλευρα φράγματα αντίστασης αγωγού μεταβλητής διατομής . . . . .	417
5.13	Πυκνωτής με απώλειες . . . . .	421
5.14	Νόμος του Joule . . . . .	429
5.15	Αρχή ελάχιστων απωλειών . . . . .	434
5.16	Γειωτές . . . . .	436
5.16.1	Σφαιρικός γειωτής . . . . .	436
5.16.2	Ημισφαιρικός γειωτής . . . . .	439
5.16.3	Σημειακή πηγή – Επαλληλία σημειακών πηγών . . . . .	441
5.16.4	Γραμμική πηγή πεπερασμένου μήκους – Ελλειψοειδής και ημιελειψοειδής επιφανειακός γειωτής . . . . .	443
5.16.5	Σωληνωτός γειωτής . . . . .	447
	Προβλήματα . . . . .	450

<b>6</b>	<b>ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ</b>	<b>463</b>
6.1	Η φύση του μαγνητικού πεδίου . . . . .	463
6.2	Θεμελίωση της βασικής ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας . . . . .	464
6.3	Οι βασικές ενεργειακές σχέσεις του πεδίου . . . . .	466
6.3.1	Πυκνότητα ενέργειας ηλεκτρικού πεδίου . . . . .	466
6.3.2	Πυκνότητα ενέργειας μαγνητικού πεδίου . . . . .	467
6.3.3	Ειδική ισχύς απωλειών Joule . . . . .	468
6.3.4	Πυκνότητα διαδιδόμενης ισχύος . . . . .	469
6.4	Οι εξισώσεις Maxwell . . . . .	469
6.4.1	Οι δύο θεμελιώδεις εξισώσεις του πεδίου . . . . .	469
6.4.2	Η μαγνητική ροή . . . . .	475
6.4.3	Εξίσωση συνέχειας . . . . .	476
6.4.4	Συνοριακές συνθήκες . . . . .	478
6.4.5	Σύντομη ανακεφαλαίωση . . . . .	486
	Προβλήματα . . . . .	487
<b>7</b>	<b>ΜΑΓΝΗΤΟΣΤΑΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ</b>	<b>491</b>
7.1	Γενικές εξισώσεις του μαγνητοστατικού πεδίου . . . . .	491
7.2	Ο νόμος του Ampère . . . . .	492
7.2.1	Η κυκλοφορία της μαγνητικής πεδιακής έντασης . . . . .	492
7.2.2	Χαρακτηριστικές εφαρμογές του νόμου του Ampère . . . . .	494
7.2.2.1	Ευθύγραμμος αγωγός αμελητέας διατομής . . . . .	494
7.2.2.2	Ευθύγραμμος αγωγός κυκλικής διατομής . . . . .	495
7.2.2.3	Ομοαξονικό καλώδιο . . . . .	497
7.3	Το βαθμωτό μαγνητικό δυναμικό . . . . .	499
7.3.1	Το πολυσήμαντο του βαθμωτού μαγνητικού δυναμικού . . . . .	499
7.3.2	Μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό κυλινδρικού κελύφους . . . . .	502
7.4	Το διανυσματικό μαγνητικό δυναμικό $\mathbf{A}$ . . . . .	507
7.4.1	Ορισμός του διανυσματικού μαγνητικού δυναμικού . . . . .	507
7.4.2	Η διανυσματική εξίσωση Poisson . . . . .	508
7.4.3	Πεδίο ευθύγραμμου αγωγού πεπερασμένου μήκους . . . . .	511
7.4.4	Πεδίο ευθύγραμμου αγωγού άπειρου μήκους . . . . .	513
7.4.5	Πεδίο κυκλικού βρόχου . . . . .	514
7.4.6	Πεδίο ρευματικής κατανομής – Μαγνητική ροπή . . . . .	518
7.5	Νόμος των Biot-Savart . . . . .	524
7.5.1	Πεδίο ευθύγραμμου αγωγού πεπερασμένου μήκους . . . . .	527
7.5.2	Πεδίο αγωγήμης λωρίδας που διαρρέεται από ρεύμα . . . . .	528
7.5.3	Πεδίο στον άξονα κυκλικού βρόχου . . . . .	529
7.5.4	Πεδίο στο εσωτερικό σωληνοειδούς . . . . .	531
7.6	Πεπλεγμένη μαγνητική ροή . . . . .	533
7.7	Αυτεπαγωγή . . . . .	535

7.7.1	Αυτεπαγωγή δακτυλοειδούς πηνίου . . . . .	535
7.7.2	Αυτεπαγωγή σωληνοειδούς μεγάλου μήκους . . . . .	537
7.7.3	Αυτεπαγωγή ομοαξονικού καλωδίου . . . . .	538
7.7.4	Αυτεπαγωγή διπλής γραμμής . . . . .	541
7.8	Μαγνητικές δυνάμεις σε αγωγούς . . . . .	543
7.8.1	Δυνάμεις και ροπές σε αγωγίμους βρόχους . . . . .	546
7.8.2	Δυνάμεις μεταξύ παράλληλων αγωγών . . . . .	549
7.8.3	Φαινόμενο Hall . . . . .	550
	Προβλήματα . . . . .	552
<b>8</b>	<b>ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΑΓΩΓΗ</b>	<b>561</b>
8.1	Ο νόμος της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής του Faraday . . . . .	561
8.2	Επαγωγή σε κινούμενη αγώγιμη ράβδο . . . . .	563
8.3	Κίνηση αγώγιμου βρόχου σε χρονικά αμετάβλητο μαγνητικό πεδίο . . . . .	565
8.4	Κίνηση αγώγιμου βρόχου σε χρονικά μεταβαλλόμενο πεδίο . . . . .	567
8.5	Σχέση μεταξύ των διανυσμάτων $\mathbf{E}$ και $\mathbf{A}$ . . . . .	569
8.6	Επαγόμενη τάση σε περιστρεφόμενο πλαίσιο . . . . .	570
8.7	Αμοιβαία επαγωγή . . . . .	572
8.8	Συντελεστής σύζευξης . . . . .	576
8.9	Ενέργεια μαγνητικού πεδίου επαγωγέα . . . . .	578
8.10	Αμοιβαία ενέργεια δύο ρευματοφόρων αγωγών . . . . .	586
8.11	Ενέργεια πεδίου συστήματος ρευμάτων . . . . .	588
8.12	Δυνάμεις μεταξύ κυκλωμάτων . . . . .	592
8.12.1	Δυνάμεις σ' ένα σύστημα σταθερών ρευμάτων . . . . .	593
8.12.2	Δυνάμεις σ' ένα σύστημα ρευμάτων όπου οι μαγνητικές ροές διατηρούνται σταθερές . . . . .	596
8.13	Ελκτική δύναμη ηλεκτρομαγνήτη . . . . .	602
8.14	Διανομή της δύναμης στην επιφάνεια – Τανυστής ηλεκτρομαγνητικής τάσης του Maxwell . . . . .	603
	Προβλήματα . . . . .	608
<b>9</b>	<b>ΚΙΝΗΣΗ ΦΟΡΤΙΣΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ</b>	<b>621</b>
9.1	Μελέτη της κίνησης φορτισμένου σωματιδίου κατά την παρουσία ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου . . . . .	621
9.2	Κίνηση φορτισμένου σωματιδίου σε ομοιόμορφο ηλεκτροστατικό πεδίο ( $\mathbf{E} \neq \mathbf{0}$ , $\mathbf{B} = \mathbf{0}$ ) . . . . .	624
9.3	Κίνηση φορτισμένου σωματιδίου σε ομοιόμορφο μαγνητοστατικό πεδίο ( $\mathbf{E} = \mathbf{0}$ , $\mathbf{B} \neq \mathbf{0}$ ) . . . . .	626
9.4	Κίνηση φορτισμένου σωματιδίου κατά τη σύγχρονη παρουσία ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου . . . . .	628
9.5	Το αναλλοίωτο της μαγνητικής ροπής . . . . .	633

9.6	Δίοδος παράλληλων πλακών . . . . .	634
	Προβλήματα . . . . .	636
<b>10</b>	<b>ΣΙΔΗΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ – ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ</b>	<b>645</b>
10.1	Μαγνητικά υλικά . . . . .	645
10.2	Μαγνήτιση . . . . .	653
10.3	Σχέση μεταξύ των διανυσμάτων $B, H, M$ . . . . .	656
10.4	Καμπύλη μαγνήτισης σιδηρομαγνητικών υλικών . . . . .	659
	10.4.1 Αρχική καμπύλη μαγνήτισης . . . . .	659
	10.4.2 Βρόχοι υστέρησης . . . . .	661
	10.4.3 Η έννοια της μαγνητικής διαπερατότητας στα σιδηρομαγνητικά υλικά . . . . .	664
	10.4.4 Ιδιότητες της μαγνήτισης σιδηρομαγνητικών υλικών . . . . .	666
	10.4.5 Απώλειες υστέρησης . . . . .	667
	10.4.6 Κατηγορίες μαγνητικών υλικών. Μόνιμοι μαγνήτες . . . . .	670
10.5	Μαγνητικά κυκλώματα . . . . .	674
	10.5.1 Μαγνητική αντίσταση . . . . .	674
	10.5.2 Οι νόμοι του Kirchhoff στα μαγνητικά κυκλώματα . . . . .	675
	10.5.3 Μαγνητικά κυκλώματα σειράς . . . . .	679
	10.5.3.1 Υπολογισμός της ΜΕΔ όταν δίνεται η ροή $\Phi$ . . . . .	680
	10.5.3.2 Υπολογισμός της ροής $\Phi$ όταν δίνεται η ΜΕΔ . . . . .	685
	10.5.4 Μαγνητικά κυκλώματα με παράλληλους κλάδους . . . . .	689
	Προβλήματα . . . . .	693
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ</b>		
<b>A</b>	<b>ΜΟΝΑΔΕΣ ΚΑΙ ΣΤΑΘΕΡΕΣ</b>	<b>703</b>
<b>B</b>	<b>ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ</b>	<b>707</b>
<b>Γ</b>	<b>ΧΡΗΣΙΜΕΣ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΕΣ ΤΑΥΤΟΤΗΤΕΣ</b>	<b>715</b>
<b>Δ</b>	<b>ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΠΕΡΙΤΤΗ ΑΡΙΘΜΗΣΗ</b>	<b>717</b>
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>729</b>
	<b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΟΡΩΝ</b>	<b>733</b>
	<b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΞΕΝΩΝ ΟΝΟΜΑΤΩΝ</b>	<b>740</b>