

ΚΥΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ

Αρχές και Εφαρμογές

ΚΥΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ

Αρχές και Εφαρμογές

K . U . I N G A R D



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ Ε.Μ.Π
ΑΘΗΝΑ 2008

K.U. INGARD

KYMATA KAI TALLANTΩΣΕΙΣ

Αρχές και Εφαρμογές

Copyright © 2008, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π.

Πρωτότυπη έκδοση:

K.U. INGARD

Fundamentals of waves and oscillations

Copyright © 1988, Cambridge University Press

Επιστημονική επιμέλεια:

Σωφρόνιος-Ηλίας Παπαδόπουλος

Απόδοση στα Ελληνικά:

Η. Κατσούφης, Αναπλ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Σ.-Η. Παπαδόπουλος, Αναπλ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Κ. Παρασκευαΐδης, Αναπλ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ι. Ράπτης, Αναπλ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Κ. Ράπτης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Κ. Φαράκος, Αναπλ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Γλωσσική επιμέλεια:

Χρυσούλα Γραμμένου, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π.

Ηλεκτρονική σελιδοποίηση, σχεδιασμός εξωφύλλου:

Στέλλα Μπορουτζή, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π.

Επεξεργασία εικόνων και σχημάτων:

Στέλλα Μπορουτζή, Άννα Τσαχουρίδου,

Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ Ε.Μ.Π.

Θωμαΐδειο Κτήριο Εκδόσεων

Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 157 80 Ζωγράφου

Τηλ.: 210 772 25 78, fax: 210 772 11 27

e-mail: ntuapres@central.ntua.gr

www.ntua.gr/ntuapres

ISBN: 978-960-254-678-9

*Η ελληνική έκδοση αφιερώνεται
στη μνήμη του εκλεκτού συναδέλφου
Σωφρόνη Παπαδόπουλου
που έφυγε ξαφνικά από κοντά μας.*

Οι συνεργάτες για την ελληνική απόδοση

Περιεχόμενα

Πρόλογος του συγγραφέα για την ελληνική έκδοση	xv
Πρόλογος του συγγραφέα για την αγγλική έκδοση	xvii
Πρόλογος των μεταφραστών	xxi

Μέρος 1ο: Ταλαντώσεις

1	Ανασκόπηση βασικών εννοιών και παραδειγμάτων	3
1.1	Εισαγωγή	3
1.2	Ορισμός της αρμονικής κίνησης	4
1.3	Ταλαντωτής μάζας-ελατηρίου	7
1.4	Παραδείγματα αρμονικής κίνησης	11
1.5	Ταλαντωτής δύο σωμάτων – Ανηγμένη μάζα	19
1.6	Δισδιάστατος ταλαντωτής	24
1.7	Μη γραμμικές ταλαντώσεις	26
1.8	Εξαναγκασμένη αρμονική κίνηση	28
1.9	Ελεύθερη κίνηση με απόσβεση	30
	Προβλήματα	32
2	Το μιγαδικό πλάτος	39
2.1	Ανασκόπηση των μιγαδικών αριθμών	39
2.2	Ο τύπος του Euler	42
2.3	Το μιγαδικό πλάτος μιας αρμονικής συνάρτησης	45
2.4	Συζήτηση	49
	Παραδείγματα	50
	Προβλήματα	52
3	Εξαναγκασμένες ταλαντώσεις και απόκριση συχνότητας	55
3.1	Ηλεκτρομηχανικές αναλογίες	55
3.2	Απόκριση συχνότητας	57
3.3	Σύνθετη αντίσταση και σύνθετη αγωγιμότητα	66
3.4	Μεταφορά ισχύος	73
3.5	Πηγές ταλαντώσεων	74
3.6	Παράδειγμα	75
3.7	Ανάλυση Fourier	76
3.8	Αυθαίρετη διεγείρουσα δύναμη	85
	Παραδείγματα	87
	Προβλήματα	92

4	Ελεύθερες ταλαντώσεις και απόκριση σε ώθηση	99
4.1	Ελεύθερες ταλαντώσεις	99
4.2	Απόκριση σε ώθηση	106
4.3	Απόκριση σε αυθαίρετη διεγείρουσα δύναμη	108
4.4	Μετάβαση στη μόνιμη κατάσταση	110
4.5	Συζήτηση	114
	Παραδείγματα	116
	Προβλήματα	118
5	Συζευγμένοι ταλαντωτές	121
5.1	Εξαναγκασμένη αρμονική κίνηση	121
5.2	Ελεύθερη κίνηση – Κανονικοί τρόποι ταλάντωσης	129
5.3	Ταλαντωτές με ασθενή σύζευξη – Διακροτήματα	133
5.4	Απόκριση σε ώθηση	137
5.5	Ορθογωνιότητα – Χώρος σχηματισμών	142
5.6	Ανόμοιοι συζευγμένοι ταλαντωτές	147
	Παραδείγματα	154
	Προβλήματα	155
Μέρος 2ο: Κύματα		
6	Βασικά στοιχεία για τα κύματα	161
6.1	Τι είναι κύμα;	161
6.2	Περιγραφή των κυμάτων (κινηματική)	162
6.3	Δυναμική – Εξισώσεις πεδίου	174
6.4	Αρμονικά κύματα και εξισώσεις μιγαδικού πλάτους	181
6.5	Παραδείγματα κυμάτων	185
6.6	Επιδείξεις απλών πειραμάτων	188
6.7	Ισχύς κύματος	190
6.8	Κυματικός παλμός	193
6.9	Κύματα σε δύο και τρεις διαστάσεις	196
	Παραδείγματα	199
	Προβλήματα	201
7	Ανάκλαση, διάδοση και απορρόφηση κύματος	207
7.1	Ανάκλαση κύματος σε σύνδεση ή επαφή	207
7.2	Απορρόφηση ενέργειας σε τερματισμό	213
7.3	Ανάκλαση κύματος και ελαστικές κρούσεις	218
	Παραδείγματα	219
	Προβλήματα	220
8	Συντονισμοί και κανονικοί τρόποι ταλάντωσης	225
8.1	Αρμονικά κύματα με συνεχή διέγερση	225
8.2	Εξαναγκασμένη αρμονική κίνηση πραγματικού ταλαντωτή μάζας-ελατηρίου	229
8.3	Ελεύθερες ταλαντώσεις και κανονικοί τρόποι ταλάντωσης	231
8.4	Ανάπτυγμα σε κανονικούς τρόπους – Σειρές Fourier	238
8.5	Συνεχής κατανομή αρμονικών δυνάμεων	247

8.6	Κανονικοί τρόποι σε δύο και τρεις διαστάσεις	251
8.7	Πυκνότητα κανονικών τρόπων	252
	Παραδείγματα	254
	Προβλήματα	255
9	Ηλεκτρομαγνητικά κύματα	261
9.1	Ανασκόπηση των μονάδων	261
9.2	Επανεξέταση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε καλώδιο	266
9.3	Εξισώσεις του Maxwell	268
9.4	Επίπεδα ηλεκτρομαγνητικά κύματα	270
9.5	Γένεση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων	273
9.6	Πόλωση	281
9.7	Διασπορά των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων	289
	Παραδείγματα	298
	Προβλήματα	299
10	Ακουστικά κύματα σε ρευστά	303
10.1	Περιγραφή κίνησης ρευστού	303
10.2	Εξισώσεις ρευστού	305
10.3	Εξισώσεις ακουστικού πεδίου	308
10.4	Σφαιρικά κύματα	313
10.5	Το ακουστικό φάσμα	315
10.6	Μετρήσεις	316
	Προβλήματα	322
11	Συμβολή και περίθλαση κυμάτων	325
11.1	Συμβολή δύο επίπεδων κυμάτων	325
11.2	Συμβολή κυμάτων από συστοιχία πηγών	330
11.3	Συνεχής κατανομή πηγών	338
11.4	Περίθλαση	343
11.5	Περιορισμένη διακριτότητα λόγω περίθλασης	350
11.6	Συμφωνία και ασυμφωνία	354
	Παραδείγματα	357
	Προβλήματα	361
12	Διάθλαση και ανάκλαση	363
12.1	Ταχύτητα ίχνους και νόμος του Snell	363
12.2	Ακουστικοί συντελεστές ανάκλασης και μετάδοσης	366
12.3	Συντελεστές ανάκλασης και μετάδοσης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων	369
12.4	Ολική ανάκλαση	373
12.5	Διάθλαση σε ένα κινούμενο μέσο	374
12.6	Ανομοιογενή μέσα	378
	Παραδείγματα	381
	Προβλήματα	385
13	Το φαινόμενο Doppler	387
13.1	Μηχανικά κύματα	387
13.2	Ηλεκτρομαγνητικά κύματα	395

xii Περιεχόμενα

Προβλήματα	403
14 Περιοδικές δομές – Διασπορά	405
14.1 Διάδοση κύματος σε πλέγμα μαζών-ελατηρίων	405
14.2 Κυματοπακέτο και ταχύτητα ομάδας	410
14.3 Σύνθετη αντίσταση κύματος και ροή ενέργειας	417
14.4 Εξασθένηση κύματος	420
14.5 Κανονικοί τρόποι ταλάντωσης σε μονοδιάστατο πλέγμα	423
14.6 Γενικευμένη κίνηση και απόκριση σε παλμό περιοδικού πλέγματος	427
Προβλήματα	429
15 Κυματοδηγοί και κοιλότητες	433
15.1 Διαδιδόμενα και αποσβενόμενα κύματα	433
15.2 Ακουστικά κύματα σε ορθογώνιο κυματοδηγό	438
15.3 Ηλεκτρομαγνητικά κύματα σε ορθογώνιο κυματοδηγό	446
15.4 Κανονικοί τρόποι ταλάντωσης σε ορθογώνια κοιλότητα	450
Προβλήματα	453
16 Υλικά κύματα	457
16.1 Ανασκόπηση	457
16.2 Κυματοσυνάρτηση για ένα ελεύθερο σωματίδιο	460
16.3 Αρχή της Αβεβαιότητας	463
16.4 Επίδραση του δυναμικού – Διείσδυση σε φράγμα δυναμικού	465
16.5 Διάθλαση των υλικών κυμάτων	467
16.6 Στάσιμες καταστάσεις – Εξίσωση Schrödinger	469
Προβλήματα	475
<hr/> Μέρος 3ο: Ειδικά Θέματα	
17 Ακτινοβολία και σκέδαση	479
17.1 Ακτινοβολία ηχητικών κυμάτων από παλλόμενη σφαίρα	479
17.2 Πολυπολικές πηγές	483
17.3 Σφαιρική πηγή με ανομοιόμορφη παραμόρφωση – Σφαιρικές αρμονικές	487
17.4 Ακτινοβολία από μία συνεχή κατανομή πηγών	492
17.5 Αρχή του Huygens και σκέδαση	495
17.6 Ακουστική σκέδαση	497
17.7 Ηλεκτρομαγνητική σκέδαση	501
Προβλήματα	504
18 Επιφανειακά κύματα σε υγρά	507
18.1 Κύματα σε ρηχό νερό	507
18.2 Επιφανειακή τάση	513
18.3 Κύματα σε βαθύ νερό – Επίδραση της επιφανειακής τάσης	518
18.4 Επίδραση του ιξώδους	522
18.5 Θερμικές ρυτιδώσεις και σκέδαση Brillouin	525
18.6 Διεπιφάνεια μεταξύ δύο διαφορετικών υγρών – Κρίσιμα φαινόμενα	533
Προβλήματα	535

19	Ταλαντώσεις πλάσματος και υδρομαγνητικά κύματα	537
19.1	Η κατάσταση πλάσματος	537
19.2	Διαμήκη κύματα (ταλαντώσεις πλάσματος)	541
19.3	Εγκάρσια κύματα (υδρομαγνητικά κύματα ή κύματα Alfvén) Προβλήματα	547 551
20	Κύματα σε στερεά	553
20.1	Διαμήκη κύματα σε ράβδο	553
20.2	Διατμητικά κύματα	557
20.3	Ανάκλαση κύματος – Ενεργειακή μελέτη	559
20.4	Κύματα λυγισμού σε πλάκα	560
20.5	Μετατόπιση, παραμόρφωση και περιστροφή	564
20.6	Σχέση τάσης-παραμόρφωσης	571
20.7	Σχέσεις μεταξύ των ελαστικών σταθερών	574
20.8	Διαμήκη και εγκάρσια κύματα	576
20.9	Μετατροπή κύματος	580
20.10	Το κύμα Rayleigh	582
20.11	Σεισμολογία Προβλήματα	586 589
21	Ταλαντώσεις ανάδρασης	591
21.1	Εξίσωση συχνότητας	591
21.2	Αστάθεια βαλβίδας	596
21.3	Αστάθεια σε φύλλο στροβίλων	605
21.4	Σφυρίχτρες και πνευστά όργανα	610
21.5	Λείξεις	617
21.6	Θερμικά συντηρούμενες ταλαντώσεις – Ο σολήνας Ράιζι (Rijke) Παραδείγματα Προβλήματα	618 620 621
	Ευρετήριο	623

Πρόλογος του συγγραφέα

για την ελληνική έκδοση

I am delighted and greatly honored that this Greek edition of my *Fundamentals of Waves and Oscillations* has been produced. It must have been a monumental task and I wish to express my admiration for this accomplishment and express my sincere appreciation and thanks to those who have been involved in the project.

The fact that your National Technical University has a school of Applied Mathematical and Physical Sciences which includes a course in “Wave Physics” appeals to me very much. In fact, my motivation for writing the book was to a great extent consistent with this type of outlook attempting to illustrate and compare wave phenomena in several areas of physics and to make such an excursion vivid and challenging by introducing many examples and problems on the way.

Incidentally, I have in mind also a strictly personal use of the book, namely to let it be a challenge for me to learn enough of the Greek language so that I can readily read it.

(June 2, 2008)

Sincerely,
Uno Ingard

Αποτελεί για μένα ιδιαίτερη χαρά αλλά και τιμή το γεγονός ότι το βιβλίο μου *Fundamentals of Waves and Oscillations* μεταφράστηκε στην ελληνική γλώσσα. Θα πρέπει να ήταν πολύ δύσκολο εγχείρημα και θέλω να εκφράσω το θαυμασμό μου για το επίτευγμα αυτό, καθώς και την ειλικρινή εκτίμηση και ευχαριστίες μου σε όσους έλαβαν μέρος στο έργο αυτό.

Το γεγονός ότι το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο έχει Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών, η οποία προσφέρει το μάθημα «Φυσική των Κυμάτων» είναι για μένα μια πολύ ευχάριστη διαπίστωση. Στην πραγματικότητα, το κίνητρό μου για να γράψω αυτό το βιβλίο ήταν σε μεγάλο βαθμό συνεπές με μια τέτοια προοπτική, προσπαθώντας να παραθέτω και να συγκρίνω κυματικά φαινόμενα σε διάφορες περιοχές της Φυσικής και να καθιστώ μία τέτοιου είδους παρουσίαση ζωντανή και ελκυστική με την παράλληλη εισαγωγή πολλών παραδειγμάτων και προβλημάτων.

Παρεμπιπτόντως, σκέφτομαι και μία εντελώς προσωπική χρήση για το βιβλίο αυτό: να αποτελέσει για μένα μία πρόκληση να μάθω αρκετά ελληνικά, ώστε να μπορέσω να το διαβάσω.

(2 Ιουνίου, 2008)

Ειλικρινά,
Uno Ingard

Πρόλογος του συγγραφέα

για την αγγλική έκδοση

Το παρόν βιβλίο βασίζεται στις σημειώσεις που είχα ετοιμάσει για ένα προπτυχιακό μάθημα Φυσικής, διάρκειας ενός εξαμήνου, με θέμα τα κύματα και τις ταλαντώσεις. Το μάθημα προοριζόταν για φοιτητές των Θετικών Επιστημών και για Μηχανικούς στο Μ. Ι. Τ. (περί τις 40 ώρες διαλέξεων και 28 ώρες φροντιστηριακών ασκήσεων). Κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας αυτών των σημειώσεων για έκδοση βιβλίου, προστέθηκε κάποιο υλικό, με αποτέλεσμα το βιβλίο στην παρούσα μορφή να περιέχει περισσότερη ύλη από αυτήν που είχε καλυφθεί στο μάθημα.

Το βιβλίο μπορεί να χωριστεί σε τρία Μέρη: Ταλαντώσεις (Κεφάλαια 1-5), Κύματα (Κεφάλαια 6-16) και Ειδικά Θέματα (Κεφάλαια 17-21). Τα ουσιώδη σημεία των δύο πρώτων Μερών μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα εξαμηνιαίο μάθημα. Το Τρίτο Μέρος έχει παρουσιαστεί κατά τη διάρκεια της Περιόδου Ανεξάρτητων Δραστηριοτήτων στο Μ.Ι.Τ. ως συνέχεια του κανονικού μαθήματος και έχει χρησιμοποιηθεί επίσης ως προπαρασκευαστικό υλικό μελέτης για φοιτητές που ασχολούνται με προπτυχιακή έρευνα, ή με ανεξάρτητη υπό εποπτεία μελέτη ειδικών προβλημάτων. Επίσης, ένας πιο εξειδικευμένος αναγνώστης μπορεί να βρει ότι αυτά τα θέματα παρουσιάζουν ενδιαφέρον και από άλλες πλευρές, όπως είναι η σύγκριση μεταξύ διαφόρων τύπων κυμάτων, καθώς και τα παραδείγματα και τα προβλήματα που χρησιμοποιούνται για να αποσαφηνίσουν βασικές ιδέες.

Υπάρχουν διάφορα συγγράμματα με θέμα τα κύματα και τις ταλαντώσεις, όμως στο εισαγωγικό επίπεδο αποφεύγεται, κατά κανόνα, η συνεπής χρήση μιγαδικών μεταβλητών. Αυτό είναι αναποτελεσματικό για διάφορους λόγους: ο ένας είναι η απώλεια της αλγεβρικής απλότητας, με αποτέλεσμα να γίνονται δυσεπίλυτα πολλά ενδιαφέροντα προβλήματα (δίνεται παράδειγμα παρακάτω). Επίσης, η επέκταση της ποσοτικής μελέτης ιδανικών συστημάτων σε «πραγματικά» συστήματα (για παράδειγμα, η συμμετοχή της μάζας του ελατηρίου στην κίνηση ενός ταλαντωτή μάζας-ελατηρίου και της απόσβεσης σε συζευγμένους ταλαντωτές και σε γραμμές μεταφοράς, κ.λπ.) καθίσταται συνήθως αρκετά επίπονη.

Από μία γενικότερη σκοπιά, ένας ακόμη σημαντικότερος λόγος είναι η αδυναμία των αναλύσεων αυτού του τύπου να χρησιμοποιήσουν το εννοιολογικά απλό αντικείμενο των κυμάτων και των ταλαντώσεων ως πεδίο εξάσκησης για να αποκτήσει ο φοιτητής δεξιότητες και εις βάθος γνώση στη χρήση των μιγαδικών πλατών – μία χρήσιμη προετοιμασία για την κβαντομηχανική και για προχωρημένα θέματα στα κλασικά πεδία (φυσική πλάσματος, γεωφυσική, κ.λπ.). Μια τέτοια εξάσκηση είναι χρήσιμη και για την κατανόηση και το χειρισμό σύγχρονων πειραματικών διατάξεων (καθώς και στην ανάγνωση των αντίστοιχων οδηγιών χρήσης), όπου γίνεται εκτεταμένη χρήση των εννοιών και της ορολογίας που βασίζονται στην εφαρμογή των μιγαδικών μεταβλητών.

Περαιτέρω, σε μία εισαγωγική παρουσίαση, είναι χρήσιμο, από διδακτική σκοπιά, να δοθεί έμφαση στις αναλογίες μεταξύ διαφόρων ειδών κυμάτων και των μεταβλητών πεδίου που εμπλέκονται, καθώς επίσης να επιδειχθεί με απλό τρόπο η μεγάλης σημασίας μετάβαση από την κίνηση του πλέγματος διακριτών στοιχείων σε κύματα στο συνεχές.

Στο πλαίσιο αυτό, πρέπει να αναφερθούμε στο συμβολισμό, εφόσον δεν είναι και τόσο αμελητέο ζήτημα, όπως μπορεί να φαίνεται. Η κατανόηση της μετάβασης από τη μελέτη συζευγμένων ταλαντωτών και πλεγμάτων στη μελέτη κυμάτων και ταλαντώσεων του συνεχούς διευκολύνεται από τη χρήση συνεπούς συμβολισμού. Έτσι, αντί να χρησιμοποιεί το συμβολισμό $\xi_1(t)$, $\xi_2(t)$ για τις μετατοπίσεις δύο συζευγμένων ταλαντωτών, το ανά χειράς βιβλίο χρησιμοποιεί το συμβολισμό $\xi(x_1, t)$, $\xi(x_2, t)$, (ή τη συντομευμένη μορφή $\xi(1, t)$, $\xi(2, t)$), έτσι ώστε η μετάβαση στην περιγραφή του πεδίου μετατόπισης $\xi(x, t)$ για το συνεχές να προκύπτει φυσιολογικά. Επιπροσθέτως, στη συζήτηση για τους κανονικούς τρόπους ταλάντωσης, οι δείκτες κρατούνται για τη σήμανση των διαφορετικών τρόπων ταλάντωσης.

Αυτές οι παρατηρήσεις έδωσαν το έναυσμα για το παρόν βιβλίο και υπέδειξαν τον τρόπο προσέγγισης που χρησιμοποιήθηκε. Ο στόχος του Πρώτου Μέρους (Ταλαντώσεις) είναι, έπειτα από μία ανασκόπηση στοιχειωδών εννοιών και παραδειγμάτων, να προσφέρει μία εμπειριστατωμένη ανάλυση (α) της απόκρισης της συχνότητας σε εξαναγκασμένη αρμονική διέγερση απλών και συζευγμένων ταλαντωτών και, μέσω της ανάλυσης Fourier, της απόκρισης σε αυθαίρετη διεγείρουσα δύναμη και (β) της «ελεύθερης» κίνησης που προκύπτει από δεδομένες αρχικές συνθήκες και εκφράζεται ως υπέρθεση κανονικών τρόπων ταλάντωσης. Ως παράδειγμα, υπολογίζεται η απόκριση του συστήματος σε μία ώθηση και χρησιμοποιείται για να εκφράσει την απόκριση σε μία αυθαίρετη διεγείρουσα δύναμη.

Στο Δεύτερο Μέρος (Κύματα), έπειτα από απλά παραδείγματα της έννοιας του κύματος και από μελέτη της κινηματικής των κυμάτων, οι εξισώσεις πεδίου που εμπλέκονται στη δυναμική ανάλυση εξάγονται από τις εξισώσεις ενός πλέγματος διακριτών συζευγμένων ταλαντωτών (μηχανικών ή ηλεκτρικών) μέσω της μετάβασης στο συνεχές.

Δίνεται έμφαση σε μία «ενοποιημένη» περιγραφή της δυναμικής των κυμάτων, στην οποία οι «εξισώσεις πεδίου», που οδηγούν στην κυματική εξίσωση, αποκτούν την ίδια μορφή για διαμήκη και εγκάρσια μηχανικά κύματα, ηλεκτρομαγνητικά κύματα, επιφανειακά κύματα σε υγρό, ταλαντώσεις πλάσματος και υδρομαγνητικά κύματα, έτσι ώστε οι αναλογίες μεταξύ των διαφόρων κυμάτων να θεμελιώνονται αμέσως.

Ακολουθώντας την προσέγγιση του Πρώτου Μέρους για ταλαντωτές, η ανάλυση κυμάτων σε πεπερασμένα συστήματα ξεκινά με μία μελέτη της απόκρισης της συχνότητας σε εξαναγκασμένη αρμονική διέγερση και του χαρακτηρισμού των συντονισμών. Ακολουθεί μία μελέτη ελεύθερων κινήσεων και κανονικών τρόπων ταλάντωσης, που περιλαμβάνει την εξέταση της πυκνότητας των τρόπων ταλάντωσης της πυκνότητας για μονοδιάστατα, διδιάστατα και τριδιάστατα κύματα.

Ένα κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στα γενικά χαρακτηριστικά των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και ένα άλλο στα ακουστικά κύματα σε ρευστά. Φαινόμενα που είναι κοινά σε όλα

τα κύματα συζητούνται σε κεφάλαια που πραγματεύονται τη συμβολή και περίθλαση κυμάτων, τη διάθλαση και το φαινόμενο Doppler. Η διασπορά των κυμάτων και οι έννοιες των ταχυτήτων φάσης και ομάδας αναλύονται λεπτομερώς σε μία μελέτη διάδοσης κυμάτων σε περιοδικό πλέγμα. Η διασπορά συζητείται επίσης σε εδάφια που ασχολούνται με τη διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στην ύλη, στο κεφάλαιο που πραγματεύεται κυματοδηγούς και στο κεφάλαιο που πραγματεύεται τα υλικά κύματα, όπου το πρόβλημα της διείσδυσης σε φραγμό συγκρίνεται με παρόμοια φαινόμενα στη μηχανική και ηλεκτρομαγνητική μετάδοση κυμάτων. (Περαιτέρω παραδείγματα κυμάτων διασποράς δίνονται στο Τρίτο Μέρος: Επιφανειακά κύματα σε υγρό, ταλαντώσεις πλάσματος και κύματα λυγισμού σε πλάκα.)

Το θέμα της πόλωσης φαίνεται εν πρώτοις δύσκολο στους φοιτητές. Ως προς αυτό, έχει αποδειχτεί ότι βοηθά ιδιαίτερα η περιγραφή του φαινομένου μέσω του εννοιολογικά απλού μοντέλου ενός κύματος σε χορδή που διαπερνά μία σχισμή σε ένα ακλόνητο επίπεδο. Στην περίπτωση αυτή, οι υπολογισμοί των κυμάτων που ανακλώνται και μεταδίδονται είναι απλοί για τα γραμμικά, καθώς και για τα κυκλικά πολωμένα κύματα στη χορδή και διασαφηνίζουν παρόμοιες αναλύσεις του ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

Διάφορα θέματα που συνήθως δεν περιλαμβάνονται σε εισαγωγικές αναλύσεις, όπως η διάδοση κυμάτων με απόσβεση σε περιοδικό πλέγμα, η διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε μαγνητισμένο πλάσμα, διάφορα παραδείγματα εξαναγκασμένων και ελεύθερων ταλαντώσεων σε συνεχή συστήματα, η ανάκλαση και η διάθλαση κυμάτων σε διαχωριστικές επιφάνειες σε σχετική κίνηση, κ.λπ., αποδεικνύεται ότι είναι προσβάσιμα σε εισαγωγικό επίπεδο. Μολονότι η προγενέστερη έκθεση σε μιγαδικές μεταβλητές είναι χρήσιμη για τη μελέτη αυτού του βιβλίου, δεν είναι απαραίτητη. Το απαιτούμενο υπόβαθρο μπορεί να αποκτηθεί από την ανασκόπηση στο Κεφάλαιο 2.

Στο Τρίτο Μέρος, που καταπιάνεται με ειδικά θέματα, ένα μοναδικό χαρακτηριστικό του παρόντος βιβλίου είναι το κεφάλαιο για τα επιφανειακά κύματα, στο οποίο παρουσιάζονται, για πρώτη φορά ως υλικό διδακτικού συγγράμματος, μια πραγμάτευση της πλήρους σχέσης διασποράς (συμπεριλαμβανομένου του ιξώδους), η σκέδαση φωτός από θερμικές επιφανειακές διακυμάνσεις, καθώς και ο σχετικός προσδιορισμός της επιφανειακής τάσης και του ιξώδους. Τα κεφάλαια που πραγματεύονται τις ταλαντώσεις πλέγματος, τις ταλαντώσεις ανάδρασης και τις αστάθειες, περιέχουν επίσης θέματα που παρουσιάζουν και σήμερα ενδιαφέρον.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι τα «Πλαίσια», που συνοψίζουν σημαντικές ιδέες και εξισώσεις και βρίσκονται διάσπαρτα σε όλο το βιβλίο. Περιέχουν συχνά αποτελέσματα αριθμητικών υπολογισμών, όπου έχει δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο πρόβλημα της παρουσίασης μαθηματικών αποτελεσμάτων σε μορφή που είναι κατάλληλη για προγραμματισμό σε υπολογιστή. Τα Πλαίσια αποδείχτηκαν χρήσιμα στους φοιτητές κατά την ανακεφαλαίωση του υλικού και στον καθηγητή για να παρουσιάζει περιληπτικά τις διαλέξεις με προβολές διαφανειών με τα Πλαίσια.

Οι λύσεις συγκεκριμένων προβλημάτων (που συχνά αντλούνται από επιδείξεις στην τάξη) συζητούνται μέσα στο κείμενο και ένας αριθμός προβλημάτων περιλαμβάνεται στο τέλος κάθε κεφαλαίου. Ορισμένα κεφάλαια περιέχουν επίσης εδάφια με παραδείγματα, όπου παρουσιάζονται ορισμένες τεχνολογικές εφαρμογές.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά συναδέλφους και φοιτητές στο M.I.T. για πολλές συζητήσεις σχετικά με το υλικό του βιβλίου και για τα προβλήματα που εμπεριέχει η διδασκαλία ενός τέτοιου μαθήματος. Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλονται στον Καθηγητή Adnan Akay για την απλόχερη και πολύτιμη συνδρομή του στη διόρθωση του κειμένου.

Το βιβλίο αφιερώνεται στη μνήμη του Καθηγητή Philip M. Morse, ο οποίος ήταν μέντωρ, συνάδελφος και φίλος.

K.U.I.

Πρόλογος των μεταφραστών

Το ερώτημα περί του τρόπου διδασκαλίας των κυματικών φαινομένων μέσω των αντίστοιχων φαινομένων στη Μηχανική, στην Ακουστική, στον Ηλεκτρομαγνητισμό, στην Οπτική, στην Επεξεργασία Σήματος και αλλού, ή ως ενιαίο μάθημα, έχει απασχολήσει κατά καιρούς τα προγράμματα πανεπιστημιακών σπουδών σε διάφορες χώρες και ιδρύματα, όπως και τον Τομέα Φυσικής του Ε.Μ.Π. Η άποψη που έχει επικρατήσει στον Τομέα Φυσικής είναι ότι η από κοινού παρουσίαση των κυματικών φαινομένων σε ένα μάθημα έχει το πλεονέκτημα να αναδεικνύει τα ενιαία χαρακτηριστικά πολλών, φαινομενικά διαφορετικών φαινομένων, καθώς και την αναλογία των εξισώσεων που τα διέπουν. Αποτέλεσμα αυτής της αντίληψης ήταν η χρήση στο Ε.Μ.Π. αρχικά της μετάφρασης του συγγράμματος της Θεμελιώδους Πανεπιστημιακής Φυσικής των Alonso – Finn (3ο Μέρος: ΚΥΜΑΤΑ). Η προσπάθεια εμπλουτισμού της αντίστοιχης ελληνικής βιβλιογραφίας συνεχίστηκε από τον Τομέα μας με τη μετάφραση του 3ου τόμου της σειράς των μαθημάτων Φυσικής του Berkeley (ΚΥΜΑΤΙΚΗ, F. S. Crawford) και αργότερα με τη μετάφραση του βιβλίου «Φυσική των ταλαντώσεων και των κυμάτων» του H. J. Pain. Τα δύο αυτά συγγράμματα χρησιμοποιήθηκαν στα μαθήματα Κυματικής των Σχολών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. για πολλά χρόνια.

Την πρόταση μετάφρασης του παρόντος συγγράμματος έφερε στον Τομέα ο αείμνηστος συνάδελφος Σωφρόνης-Ηλίας Παπαδόπουλος. Παρά τους αρχικούς ενδοιασμούς, λόγω των σχετικά υψηλών απαιτήσεων που έθετε το σύγγραμμα αυτό, ο Τομέας Φυσικής εκτίμησε τα πλεονεκτήματα που παρουσίαζε και το πρότεινε προς τη Συγκλητική Επιτροπή Εκδόσεων, η οποία ενέκρινε τη μετάφραση και έκδοσή του από τις Πανεπιστημιακές Εκδόσεις του Ε.Μ.Π. Η μετάφραση πραγματοποιήθηκε με επιστημονικό επιμελητή και συντονιστή τον αείμνηστο συνάδελφο Σωφρόνη, ο οποίος δυστυχώς έφυγε από κοντά μας μετά την ολοκλήρωση της επιμέλειας σχεδόν ολόκληρου του συγγράμματος. Η ελληνική έκδοση αφιερώνεται από όλους τους συνεργάτες του στη μνήμη του. Το έργο ολοκληρώθηκε υπό το συντονισμό του Κωστή Παρασκευαΐδη.

Στο σημείο αυτό θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π. και ιδιαίτερα την προϊσταμένη κα Αφροδίτη Μπούτου, την κα Χρυσούλα Γραμμένου για την ιδιαίτερη φροντίδα της ως προς τη γλωσσική επιμέλεια του κειμένου, την κα Στέλλα Μπορουτζή για την πολύτιμη βοήθειά της στη δακτυλογράφηση των δοκιμίων και επιμέλεια της συνολικής εμφάνισης του βιβλίου και την κα Άννα Τσαχουρίδου για την επεξεργασία εικόνων και σχημάτων. Ελπίζουμε ότι η πραγματική δικαίωση της απόδοσης στα ελληνικά, για τα ιδιαίτερα τεχνικά χαρακτηριστικά του οποίου ο αναγνώστης μπορεί να ανατρεξει στις εισαγωγές του συγγραφέα, θα έλθει μέσω της ανταπόκρισης που θα έχει από τη σπουδαστική και επιστημονική κοινότητα, οι παρατηρήσεις και τα σχόλια των οποίων προς τους μεταφραστές είναι ευπρόσδεκτα.