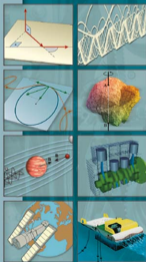


Ι. Ε. Φραγκιαδάκης

# Φυσική & Τεχνολογία

Θεμελιώδεις έννοιες  
& εφαρμογές



Κάθε γνήσιο αντίτυπο φέρει την υπογραφή του συγγραφέα

ISBN 960-431-854-3

© Copyright, 2003, 2006 Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Ι. Ε. Φραγκιαδάκης

Πρώτη έκδοση 2003

Πρώτη ανατύπωση με βελτιώσεις 2006

---

*Το παρόν έργο πνευματικής ιδιοκτησίας προστατεύεται κατά τις διατάξεις του Ελληνικού νόμου (Ν.2121/1993 όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει σήμερα) και τις διεθνείς συμβάσεις περί πνευματικής ιδιοκτησίας. Απαγορεύεται απολύτως η άνευ γραπτής άδειας του εκδότη κατά οποιοδήποτε τρόπο ή μέσο αντιγραφή, φωτοανατύπωση και εν γένει αναπαραγωγή, εκμίσθωση ή δανεισμός, μετάφραση, διασκευή, αναμετάδοση στο κοινό σε οποιαδήποτε μορφή (ηλεκτρονική, μηχανική ή άλλη) και η εν γένει εκμετάλλευση του συνόλου ή μέρους του έργου.*

---



**Φωτοστοιχειοθεσία  
Επιτύπωση**

**Π. ΖΗΤΗ & Σια ΟΕ**

18ο γλμ Θεσ/νίκης-Περαίας

Τ.Θ. 4171 • Νέοι Επιβάτες Θεσσαλονίκης • Τ.Κ. 570 19

Τηλ.: 2392.072.222 (3 γραμ.) - Fax: 2392.072.229

e-mail: info@ziti.gr

**Βιβλιοπωλείο**

**ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΖΗΤΗ**

Αρμενοπούλου 27 • 546 35 Θεσσαλονίκη

Τηλ. 2310.203.720, Fax 2310.211.305

e-mail: sales@ziti.gr

[www.ziti.gr](http://www.ziti.gr)

## Πρόλογος

---

### *Σχόλια του συγγραφέα*

Ο σκοπός της συγγραφής του βιβλίου αυτού είναι η δημιουργία ενός εκπαιδευτικού βοηθήματος, στο χώρο της Τριτοβάθμιας εκπαίδευσης, που να συνδυάζει, στα πλαίσια του εφικτού, την παρουσίαση των θεμελιωδών αρχών και νόμων της Φυσικής, με την εφαρμογή τους σε θέματα τεχνολογικού ενδιαφέροντος. Προηγήθηκε μια μακρά περίοδος διαμόρφωσης της ύλης και του κειμένου, με βάση την αμφίδρομη σχέση που αναπτύσσεται, συνήθως, μεταξύ διδάσκοντα και διδασκόμενων. Πολύτιμη, υπήρξε η βοήθεια ήδη καταξιωμένων εκπαιδευτικών συγγραμμάτων, τα οποία αναφέρονται αναλυτικά, στον πίνακα βιβλιογραφίας του συγγράμματος.

Η μελέτη των φυσικών νόμων και εννοιών και η ανάπτυξη των επιμέρους θεμάτων επιλέχθηκε, συνειδητά, να γίνει μέσα από την εμπειριστατωμένη και κριτική αντιμετώπισή τους, αποφεύγοντας την επιγραμματική τους μόνο παράθεση. Η μεθοδολογία της συμπυκνωμένης παρουσίασης εννοιών, η οποία αποδεικνύεται πολύ εξυπηρετική σε σεμιναριακού τύπου διδασκαλία, εμπεριέχει τον κίνδυνο, ιδιαίτερα στο στάδιο της θεμελίωσης των εννοιών της Φυσικής, να οδηγήσει στην αδρανοποίηση της πνευματικής ανησυχίας των νέων και μάλιστα εκείνων που αναζητούν τη γνώση και δεν ικανοποιούνται με την υποβάθμισή της σε απλή πληροφορία. Η αναφορά στις έννοιες της Φυσικής με τη μορφή συνθηματικών προτάσεων και μόνο, εμφανίζεται πολλές φορές δελεαστική για τα δύο μέλη της εκπαιδευτικής διαδικασίας, διδάσκοντες και διδασκόμενοι. Στους μεν, παρέχει την ευχέρεια άνετης και θελκτικής παρουσίασης ενός θέματος, στους δε, δίδει την ψευδαίσθηση ενός άμεσα αντιληπτού θετικού αποτελέσματος, το οποίο, όμως, αποδεικνύεται πρόσκαιρο και εξανεμίζεται μόλις η αναφορά στη γνώση γίνει ουσιαστική. Αντίθετα, η ισορροπημένη διδακτική παρουσίαση και η μεθοδική αναζήτηση της ουσίας των πραγμάτων, με αλληλεπίδραση με το ακροατήριο, ενισχύει την πνευματική ικανότητα του εκπαιδευόμενου, στρέφοντάς την στη δημιουργική και παραγωγική αξιοποίηση της γνώσης.

### *Η ύλη του βιβλίου και η οργάνωσή της*

Σε γενικές γραμμές, το βιβλίο αυτό καλύπτει ύλη Φυσικής, σε ευρύ φάσμα εννοιών και θεμάτων, που άπτονται των ενδιαφερόντων Μηχανικού, Μηχανολόγου ή Ηλεκτρολόγου. Συγκεκριμένα, τα θέματα και οι εφαρμογές που παρουσιάζονται και αναλύονται, σταχυολογούνται από τη Μηχανική, τον Ηλεκτρισμό, τη Θερμότητα και τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ).

Αναλυτικότερα, στην εισαγωγή, γίνεται θεμελίωση του διεθνούς συστήματος μονάδων (SI) και παρέχεται μια αναλυτική παρουσίαση των πρότυπων μονάδων, με βάση τις αποφάσεις των σχετικών συνεδρίων. Ο σκοπός αυτής της ανάλυσης είναι η ανάδειξη της σημασίας της μέτρησης καθώς και της αναγκαιότητας καθορισμού των πρότυπων μονάδων των Φυσικών ποσοτήτων μέσα από συγκεκριμένες πειραματικές διαδικασίες.

Στο πρώτο κεφάλαιο δίδεται μια σύντομη, κυρίως εννοιολογική εισαγωγή, στο μαθηματικό λογισμό. Ο σκοπός αυτής της αναφοράς, είναι να δοθεί η φυσική διάσταση της μαθηματικής σκέψης, προκειμένου να περιοριστούν στο ελάχιστο δυνατόν, οι επιπτώσεις μιας πιθανής μηχανιστικής χρήσης των μαθηματικών κατά την παρουσίαση και επεξεργασία των θεμάτων στα κεφάλαια που ακολουθούν.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται περιληπτικά, έννοιες της κινηματικής, με σκοπό να εξυπηρετήσουν διδακτικές ανάγκες των επομένων κεφαλαίων.

Στο τρίτο κεφάλαιο, δίδεται ιδιαίτερη βαρύτητα στην ανάλυση των βασικών εννοιών της Φυσικής, όπως π.χ. όσα αφορούν σε δυνάμεις και πεδία, ενέργεια και διατήρησή της, μηχανικές και κύρια ηλεκτρικές ταλαντώσεις, φαινόμενα συντονισμού σε ηλεκτρικά κυκλώματα. Κρίθηκε σκόπιμο να δοθεί, μέσα από μια συνοπτική παρουσίαση, ως ειδικό θέμα συμπληρωματικής μελέτης, η αναφορά στα αποτελέσματα της δράσης του ηλεκτρικού πεδίου, στατικού ή εναλλασσομένου, με την ύλη. Εξετάζεται, επίσης, η δράση του μαγνητικού πεδίου σε κινούμενα φορτία, σε συνδυασμό με χρήσιμες εφαρμογές. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με παρουσίαση θεμάτων σχετικών με τη βαρύτητα.

Το τέταρτο κεφάλαιο αφορά στο έργο και την ενέργεια. Αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα κεφάλαια αυτού του βιβλίου. Θεμελιώνονται, προσεκτικά, οι έννοιες του έργου, της ενέργειας, της ισχύος, στιγμιαίας και μέσης. Παρουσιάζονται, τα θεωρήματα που συσχετίζουν, αφ' ενός, τη μεταβολή της κινητικής ενέργειας ενός σώματος με το σύνολο των έργων που παράγονται ή καταναλίσκονται κατά τη μεταβολή αυτή, αφ' ετέρου το έργο των μη συντηρητικών δυνάμεων (τριβών) με τη μεταβολή της μηχανικής ενέργειας. Η ενεργειακή απόδοση μηχανών παρουσιάζεται γενικά και μέσω της έννοιας της θερμικής μηχανικής.

νής και αντιδιαστέλλεται από το συντελεστή επίδοσης των ψυγείων και κλιματιστικών μηχανημάτων. Σε καθένα απ' τα λυμένα παραδείγματα παρατίθεται η σκέψη επίλυσης, πολλά δε απ' αυτά επελέγησαν με κύριο κριτήριο την τεχνολογική τους σημασία.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, εξετάζεται ο απλός αρμονικός ταλαντωτής καθώς και η φθίνουσα και εξαναγκασμένη ταλάντωση και τα χαρακτηριστικά της. Αναλύεται η μεθοδολογία των περιστρεφόμενων ανυσμάτων, η οποία αξιοποιείται στη μελέτη της σύνθεσης των ταλαντωτικών κινήσεων, ιδιαίτερα στα ηλεκτρικά κυκλώματα και γίνεται σύντομη αναφορά στην αντίστοιχη μεθοδολογία με τους μιγαδικούς αριθμούς.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται σύντομα αλλά με την δέουσα προσοχή στην ακρίβεια και τη σαφήνεια, θέματα που αφορούν στη στατική και στη δυναμική συμπεριφορά του στερεού σώματος, με αναφορά στην τεχνολογική εφαρμογής τους. Η εμπέδωση τους ολοκληρώνεται μέσα από χαρακτηριστικά παραδείγματα.

Στο κεφάλαιο της θερμότητας (Κεφάλαιο 7), δίδεται ιδιαίτερη προσοχή στη σαφή εισαγωγή και θεμελίωση των σχετικών εννοιών και στην παρουσίαση του ουσιαστικού νοήματος των θερμοδυναμικών νόμων. Συνάμα και πέραν των τυπικών παραδειγμάτων εμπέδωσής τους, δίδεται έμφαση σε θέματα γενικότερου αλλά και ειδικότερου ενδιαφέροντος, που σχετίζονται με τη διάδοση της ενέργειας με τη μορφή θερμότητας, όπως, θέματα θερμομόνωσης ή ψύξης χώρων και μηχανημάτων. Καταβλήθηκε ιδιαίτερη προσοχή στην παρουσίαση του θέματος αλληλεπίδρασης ύλης και ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, μέσα στα πλαίσια ενός εισαγωγικού βοηθήματος.

Στο τελευταίο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 8), γίνεται μια εξαιρετικά σύντομη παρουσίαση, του πολύ σημαντικού, για την εποχή μας, θέματος, της τεχνολογίας των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, με έμφαση στη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό, με χρήση των φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Μια προσεκτική και μεθοδευμένη, από μέρους του διδάσκοντα, επιλογή, των κατάλληλων σε κάθε περίπτωση, θεμάτων, μέσα από την εκτενή ύλη του συγγράμματος αυτού, σε συνδυασμό με τη δική του, καθοριστικής σημασίας, καθοδήγηση, θα βοηθήσει σημαντικά στην επιτυχία των στόχων του συγγράμματος.

Ευχαριστώ θερμά το συνάδελφο και φίλο Αριστείδη Ζδέτση, καθηγητή του Φυσικού τμήματος του Πανεπιστημίου Πατρών, για την καλοσύνη του να σχολιάσει τμήματα του κειμένου και με τις εύστοχες παρατηρήσεις του να συμβάλει στην ουσιαστική εννοιολογική βελτίωσή τους. Αισθάνομαι επίσης υπόχρεος προς τον συνάδελφο Μαθηματικό Δημήτρη Καραγιαννάκη, καθηγητή του ΤΕΙ Κρήτης, για την εποικοδομητική κριτική του επί του κειμένου.

Παρά την επίπονη προσπάθεια που καταβλήθηκε για μια επιμελημένη και κατά το δυνατόν άρτια παρουσίαση του συγγράμματος αυτού, είναι πιθανόν να έχουν παραμείνει αβλεψίες και ασαφώς διατυπωμένα νοήματα. Η επισήμανσή τους θα συμβάλει ουσιαστικά στη βελτίωση του κειμένου και γι' αυτό ευχαριστώ εκ των προτέρων όσους θα έχουν την καλοσύνη, να μου γνωστοποιήσουν τις παρατηρήσεις τους.

Ιωάννης Φραγκιαδάκης  
Ηράκλειο 2003

### *Σχόλια του συγγραφέα για την ανατύπωση του βιβλίου*

Κατά την προετοιμασία της πρώτης ανατύπωσης του συγγράμματος έγιναν αρκετές και σημαντικές επεμβάσεις στο κείμενο, όχι μόνο στην εξάλειψη των ατελειών της πρώτης έκδοσης αλλά και σε προσθήκες, τροποποιήσεις και αναδιατυπώσεις τμημάτων του κειμένου, με σκοπό την ολοκληρωμένη βελτίωσή του. Οι πάντα ευπρόσδεκτες παρατηρήσεις των συναδέλφων εκπαιδευτικών, που είχαν την ευγενή καλοσύνη να το διαβάσουν και να διατυπώσουν τις επισημάνσεις τους, καθώς και εκείνες των φοιτητών-σπουδαστών που το χρησιμοποίησαν ως διδακτικό βοήθημα, αποτέλεσαν αφετηρία και κατευθυντήρια γραμμή των διορθωτικών επεμβάσεων που έγιναν για την ανατύπωσή του. Στα πλαίσια αυτά, αισθάνομαι την υποχρέωση να τους ευχαριστήσω εγκαρδίως για τη σημαντική βοήθεια που μου προσέφεραν. Ιδιαίτερος θέλω να ευχαριστήσω το συνάδελφο και φίλο κ. Ν. Καπετανάκη, για τις πολύ εύστοχες παρατηρήσεις του.

Έχω την ελπίδα η προσπάθεια αυτή να βρει το στόχο της, που δεν είναι άλλος βεβαίως, από την ορθολογική προσέγγιση της γνώσης, στα πλαίσια της εκπαιδευτικής διαδικασίας.

Ιωάννης Φραγκιαδάκης  
Φεβρουάριος 2006

## Περιεχόμενα

---

### Εισαγωγή

Η Φυσική επιστήμη .....	1
Επιστήμη και Τεχνολογία .....	2
Οι Φυσικές ποσότητες. Διεθνές Σύστημα Μονάδων, SI .....	3
Πρότυπα μέτρα θεμελιωδών μεγεθών στο SI .....	4
Μονάδες μεγεθών άλλων συστημάτων .....	9

### 1ο Κεφάλαιο

#### Στοιχεία Μαθηματικής Ανάλυσης

---

1.1 Διανύσματα .....	13
1.1.1. Ορισμοί .....	13
1.1.1.2. Εφαρμοστό διάνυσμα .....	13
1.1.1.3. Ολισθαίνον διάνυσμα .....	13
1.1.1.4. Ελεύθερο διάνυσμα .....	14
1.1.1.5. Μοναδιαίο διάνυσμα .....	14
1.1.1.6. Συγγραμμικά διανύσματα .....	14
1.1.1.7. Ορθοκανονικό σύστημα αξόνων .....	14
1.1.2. Πράξεις διανυσμάτων .....	14
1.2 Παράγωγος συνάρτησης .....	21
1.2.1. Ορισμός (μια διάσταση) .....	21
1.2.2. Φυσική σημασία παραγώγου .....	22
1.2.3. Παραγωγή συνθετων συναρτήσεων μιας μεταβλητής .....	23
1.2.4. Παραδείγματα εφαρμογής του ορισμού της παραγώγου .....	24
1.3 Ολοκλήρωση συνάρτησης .....	25
1.3.1. Αόριστο ολοκλήρωμα .....	25
1.3.2. Ορισμένο ολοκλήρωμα .....	26
1.3.3. Φυσική σημασία του ολοκληρώματος .....	27
1.4 Τοπικά ακρότατα .....	28
Ασκήσεις .....	31

## 2ο Κεφάλαιο

**Κίνηση (Στοιχεία από την κινηματική του υλικού σημείου)**

2.1	Ορισμοί .....	37
2.1.1.	Υλικό σημείο .....	37
2.1.2.	Περιγραφή της κίνησης υλικού σημείου .....	37
2.1.3.	Εξίσωση τροχιάς .....	38
2.2	Γραμμικά μεγέθη κινηματικής .....	38
2.2.1.	Ταχύτητα .....	38
2.2.2.	Επιτάχυνση .....	41
2.3	Γωνιακά μεγέθη .....	43
2.3.1.	Γωνιακή ταχύτητα .....	43
2.3.2.	Γωνιακή επιτάχυνση .....	44
2.3.3.	Μονάδες γραμμικών και γωνιακών μεγεθών στο SI .....	44
2.4	Παραδείγματα απλών κινήσεων .....	45
2.5	Γενική επίπεδη κίνηση υλικού σημείου .....	49
2.6	Κίνηση υλικού σημείου σε ομογενές πεδίο βαρύτητας .....	50
	Περίληψη ορισμών και σχέσεων του 2ου κεφαλαίου .....	53
	Ασκήσεις .....	56

## 3ο Κεφάλαιο

**Δυνάμεις και Πεδία**

3.1	Γενικά περί δυνάμεων .....	61
3.1.1.	Ορισμός της δύναμης .....	61
3.1.2.	Γενική κατάταξη των δυνάμεων .....	62
3.1.3.	Η βαθύτερη αιτία των δυνάμεων .....	64
3.1.4.	Αποτελέσματα δράσης των Βαρυτικών και των Ηλ/μαγνητικών δυνάμεων .....	65
3.1.5.	Τρόποι διάκρισης των ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων .....	66
3.2	Θεμελίωση της Μηχανικής από τον Νεύτωνα .....	68
3.2.1.	Αξιώματα Δυναμικής (ή αξιώματα του Νεύτωνα) .....	69
3.2.2.	Γενικότερη σχέση δύναμης και μεταβολής κινητικής κατάστασης ενός σώματος .....	78
3.2.3.	Η διατήρηση της ορμής .....	79
3.2.3.1.	Ελαχιστοποίηση των δυνάμεων κρούσης .....	81
3.3	Ισορροπία υλικού σημείου .....	84
3.3.1.	Στατική ισορροπία υλικού σημείου .....	84
3.3.2.	Ηρεμία υλικού σημείου .....	84
3.4	Κεντρομόλος δύναμη. Μια ειδική συνθήκη .....	84
3.5	Αναλυτική παρουσίαση μερικών νόμων δυνάμεων .....	86



3.5.1.	Τριβή	86
3.5.1.1.	Τριβή μεταξύ στερεών σωμάτων	86
3.5.1.2.	Τριβή στα ρευστά	90
3.5.1.3.	Κίνηση σώματος μέσα σε ρευστό	92
3.5.2.	Παραμόρφωση σώματος - Δύναμη Hooke	93
3.5.3.	Δυνάμεις βαρύτητας	97
3.5.3.1.	Ο Νόμος της παγκόσμιας έλξης	97
3.5.3.2.	Ο νόμος της βαρύτητας σε πραγματικά σώματα - Ο ρόλος του σχήματός τους	98
3.5.3.3.	Ο νόμος του Νεύτωνα σε σφαιρικά ομογενή κατά φλοιούς, σώματα	100
3.6	Πεδία	101
3.6.1.	Βασικοί ορισμοί	101
3.6.1.1.	Η έννοια του πεδίου - Το χαρακτηριστικό πεδιακό μέγεθος	101
3.6.1.2.	Το δυναμικό, ένας άλλος τρόπος περιγραφής του πεδίου	103
3.6.1.3.	Γραφικοί τρόποι περιγραφής του πεδίου	104
3.6.2.	Το πεδίο βαρύτητας	107
3.6.2.1.	Ένταση του πεδίου βαρύτητας	107
3.6.2.2.	Ένταση πεδίου βαρύτητας - επιτάχυνση βαρύτητας	107
3.6.2.3.	Ένταση του πεδίου βαρύτητας στο εσωτερικό σφαιρικού ομογενούς σώματος	119
3.6.2.4.	Παλιρροϊκά φαινόμενα - Πλημμυρίδα και άμπωτη	109
3.6.3.	Το ηλεκτρικό πεδίο	111
3.6.3.1.	Ο νόμος του Coulomb	112
3.6.3.2.	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου	113
3.6.3.3.	Σύνθετο ηλεκτρικό πεδίο - επίπεδος πυκνωτής	113
3.6.3.4.	Σύγκριση ηλεκτρικών και βαρυτικών δυνάμεων	116
3.6.3.5.	Η συμπεριφορά της ύλης μέσα στο ηλεκτρικό πεδίο	118
3.6.4.	Το μαγνητικό πεδίο	126
3.6.4.1.	Γενικά	126
3.6.4.2.	Κίνηση ηλεκτρικών φορτίων σε ομογενές μαγνητικό πεδίο. Φασματογράφος μαζών	127
3.6.4.3.	Το φαινόμενο Hall	129
3.6.4.4.	Ένταση μαγνητικού πεδίου σε ειδικές απλές περιπτώσεις	131
3.7	Παραδείγματα λύσης προβλημάτων δυναμικής υλικού σημείου	134
3.7.1.	Τρόπος εργασίας για τη λύση προβλημάτων δυναμικής υλικού σημείου	134
3.7.2.	Λυμένα προβλήματα	135
	Περίληψη ορισμών και σχέσεων του 3ου κεφαλαίου	146
	Ασκήσεις	150

## 4ο Κεφάλαιο

**Έργο - Ενέργεια**

4.1 Έργο .....	153
4.2 Ειδικές περιπτώσεις υπολογισμού έργου .....	156
4.2.1. Έργο σταθερής δύναμης .....	156
4.2.1.1. Χαρακτηριστικές περιπτώσεις υπολογισμού έργου σταθερής δύναμης .....	157
4.2.2. Έργο τριβής .....	159
4.2.3. Έργο δύναμης μαγνητοστατικού πεδίου .....	160
4.2.4. Έργο δύναμης ελατηρίου .....	163
4.3 Ισχύς .....	163
4.4 Ενέργεια .....	169
4.5 Θεώρημα Μεταβολής Κινητικής Ενέργειας-Έργου (ΘΜΚΕ) .....	183
4.6 Διατήρηση της ενέργειας .....	186
4.7 Συντηρητικές και μη συντηρητικές δυνάμεις .....	186
4.8 Συντελεστές απόδοσης - επίδοσης .....	188
4.9 Λυμένα προβλήματα .....	191
Περίληψη ορισμών και σχέσεων του 4ου κεφαλαίου .....	212
Ασκήσεις .....	214

## 5ο Κεφάλαιο

**Ταλαντώσεις**

5.1 Γενικά .....	223
5.2 Περιοδικό Φαινόμενο - Ορισμοί .....	224
5.3 Απλή αρμονική ταλάντωση .....	225
5.3.1. Ορισμός .....	225
5.3.2. Ταχύτητα του κινητού στην απλή αρμονική ταλάντωση .....	226
5.3.3. Επιτάχυνση κινητού στην απλή αρμονική ταλάντωση .....	227
5.3.4. Δύναμη στο κινητό στην απλή αρμονική ταλάντωση .....	227
5.3.5. Δυναμική ενέργεια απλού αρμονικού ταλαντωτή .....	227
5.3.6. Ολική ενέργεια α. α. ταλαντωτή (Μηχανική ενέργεια) .....	228
5.4 Διαφορική εξίσωση της α.α.τ. ....	229
5.5 Αναλυτική μελέτη χαρακτηριστικών αρμονικών ταλαντώσεων .....	230
5.6 Ταλαντώσεις με απόσβεση .....	242
5.6.1. Φθίνουσες ταλαντώσεις .....	242
5.6.2. Ταλαντώσεις σε περιβάλλον τριβής .....	243
5.6.3. Εξαναγκασμένες ταλαντώσεις .....	245
5.6.3.1. Η ύλη σε εναλλασσόμενο ηλεκτρικό πεδίο .....	248

5.7	Αναλυτική μελέτη των ταλαντώσεων παρουσία τριβής	250
5.7.1.	Φθίνουσες ταλαντώσεις	250
5.7.1.1.	Δυναμική εξέταση	250
5.7.1.2.	Ενεργειακές απώλειες ανά περίοδο ταλάντωσης	253
5.7.1.3.	Συντελεστής ποιότητας ταλαντωτικού συστήματος, $Q_p$	255
5.7.2.	Εξαναγκασμένες ταλαντώσεις	257
5.7.2.1.	Μελέτη δυναμικής κατάστασης	257
5.7.2.2.	Μέση ισχύς που απορροφά ο ταλαντωτής στην εξαναγκασμένη ταλάντωση	262
5.7.2.3.	Εύρος συντονισμού ισχύος και πειραματικός προσδιορισμός του συντελεστή ποιότητας	263
5.8	Εφαρμογές	265
5.8.1.	Εξαναγκασμένες ηλεκτρικές ταλαντώσεις	265
5.8.2.	Βελτίωση του συντελεστή ισχύος (συνφ)	267
5.8.3.	Πειραματικός προσδιορισμός του $Q_p$ κυκλώματος RLC	268
5.9	Σύνθεση ταλαντώσεων	270
5.9.1.	Σύνθεση ταλαντώσεων ίδιας διεύθυνσης	270
5.9.2.	Σύνθεση δυό αρμονικών ταλαντώσεων καθέτων μεταξύ τους	279
5.10	Ανάλυση Fourier	282
	Περίληψη ορισμών και σχέσεων του 5ου κεφαλαίου	288
	Ασκήσεις	292

## 6ο Κεφάλαιο

### Στερεό σώμα

6.1	Γενικά	299
6.2	Κινηματική στερεού σώματος	299
6.3	Δυναμική στερεού σώματος	302
6.3.1.	Στροφορμή στερεού σώματος ως προς το σημείο	302
6.3.2.	Ροπή αδράνειας στερεού σώματος ως προς άξονα	303
6.3.3.	Θεώρημα Steiner ή θεώρημα των παραλλήλων αξόνων	306
6.3.4.	Σχέση μεταξύ της στροφορμής $L$ , του στερεού σώματος και της γωνιακής ταχύτητάς του $\omega$	307
6.3.4.1.	Η σημασία των κυρίων αξόνων αδράνειας	309
6.3.5.	Κινητική ενέργεια	310
6.3.6.	Θεώρημα μεταβολής κινητικής ενέργειας-έργου για το στερεό σώμα	311
6.3.7.	Ροπή δύναμης	311
6.3.8.	Σχέση ροπής δυνάμεων και στροφορμής	314
6.3.8.1.	Διατήρηση στροφορμής	317
6.3.8.2.	Ισορροπία στερεού σώματος	318

6.4 Κέντρο μάζας - Κέντρο βάρους .....	319
Περίληψη ορισμών και σχέσεων του βου κεφαλαίου .....	321
6.5 Λυμένα προβλήματα .....	324
Ασκήσεις .....	334

## 7ο Κεφάλαιο

### Θερμικά φαινόμενα

7.1 Θερμική κίνηση .....	341
7.2 Εσωτερική ενέργεια σώματος .....	343
7.3 Θερμική αλληλεπίδραση - θερμική ισορροπία .....	345
7.4 Θερμοδυναμική - Θερμοδυναμική ισορροπία .....	346
7.5 Μηδενικό θερμοδυναμικό αξίωμα ή μηδενικός νόμος της θερμοδυναμικής .....	347
7.6 Θερμοκρασία .....	348
7.6.1. Πρώτη προσέγγιση μέσω του μηδενικού νόμου .....	348
7.6.2. Η θερμοκρασία και το μοντέλο των ενεργειακών σταθμών. Το απόλυτο μηδέν .....	349
7.6.3. Τυπικά χαρακτηριστικά του σώματος αναφοράς για τη δημιουργία μιας θερμοκρασιακής κλίμακας .....	351
7.6.4. Θερμοκρασιακές κλίμακες .....	352
7.7 Έργο .....	353
7.7.1. Γενικά .....	353
7.7.2. Υπολογισμός μακροσκοπικού έργου .....	355
7.8 Έργο και θερμότητα .....	356
7.9 Πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα .....	358
7.9.1. Υπολογισμός θερμοδυναμικών μεγεθών κατά την ισοβαρή μεταβολή .....	360
7.10 Δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα .....	361
7.11 Θερμότητα και εντροπία .....	364
7.12 Θερμικές μηχανές και 2ος νόμος θερμοδυναμικής .....	368
7.13 Θεώρημα Carnot .....	369
7.14 Κυκλικές μεταβολές στις θερμικές μηχανές .....	370
7.15 Στατιστική και εντροπία .....	376
7.15.1. Χρονική εξέλιξη της εντροπίας αποκλεισμένου συστήματος Στατιστικός ορισμός θερμοκρασίας .....	379
7.15.2. Τρίτος νόμος της θερμοδυναμικής .....	380
7.15.3. Η ενεργειακή υποβάθμιση του σύμπαντος .....	381
7.16 Θερμική διαστολή .....	382
7.16.1. Διαστολή στα πλαστικά .....	386
7.16.2. Μια απλουστευμένη ερμηνεία της διαστολής .....	386

7.17	Ειδική θερμότητα - θερμοχωρητικότητα .....	388
7.17.1.	Θερμοχωρητικότητα .....	390
7.18	Αλλαγές φάσης .....	392
7.18.1.	Τήξη - Πήξη .....	393
7.18.2.	Εξαέρωση - Υγροποίηση .....	395
7.18.2.1.	Εξαέρωση παρουσία άλλου αερίου .....	396
7.18.3.	Βρασμός .....	397
7.18.3.1.	Επίδραση της πίεσης στο σημείο βρασμού ενός υγρού .....	398
7.18.4.	Λανθάνουσα θερμότητα εξαέρωσης <sup>31</sup> .....	401
7.18.5.	Εξάχνωση - Στερεοποίηση .....	401
7.19	Το τριπλό σημείο .....	402
7.20	Τρόποι διάδοσης της ενέργειας με τη μορφή θερμότητας .....	404
7.20.1.	Διάδοση με αγωγή .....	405
7.20.1.1.	Το φωνόνιο .....	407
7.20.1.2.	Θερμομόνωση .....	408
7.20.2.	Διάδοση με μεταφορά ύλης ή διάδοση με ρεύματα .....	409
7.20.2.1.	Αντιμέτωπιση θερμικού φόρτου με κυκλοφορία ψυκτικού υγρού ...	412
7.20.3.	Διάδοση με μεταβίβαση .....	413
7.20.3.1.	Ροή ενέργειας μέσα από ομογενές τοίχωμα .....	415
7.20.3.2.	Ροή ενέργειας μέσα από σύνθετο τοίχωμα .....	417
7.20.4.	Διάδοση ενέργειας με ακτινοβολία .....	419
7.20.4.1.	Γενικά .....	419
7.20.4.2.	Η ακτινοβολία των δομικών λίθων της ύλης .....	422
7.20.4.3.	Νόμος μετατοπίσεων των μεγίστων ή νόμος του Wien .....	428
7.20.4.4.	Νόμος των Stefan και Boltzmann .....	429
7.20.4.5.	Ολικά εκπεμπόμενη ισχύς σε περιβάλλον θερμοκρασίας $T_{\pi}$ .....	430
7.20.4.6.	Το πραγματικό σώμα .....	431
7.20.5.	Ολικά εκπεμπόμενη ισχύς από πραγματικό σώμα- Φαίο σώμα .....	433
7.20.5.1.	Εκπομπή ακτινοβολίας από φαίο σώμα, σε περιβάλλον θερμοκρασίας $T_{\pi}$ .....	434
7.20.5.2.	Όργανα μέτρησης της θερμοκρασίας των σωμάτων, με βάση την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία τους .....	435
7.21	Νόμος του Νεύτωνα για το ρυθμό μετάβασης των σωμάτων στη θερμική ισορροπία με το περιβάλλον τους .....	438
7.22	Το φαινόμενο του θερμοκηπίου .....	440
	Περίληψη ορισμών και σχέσεων του 7ου κεφαλαίου .....	444
	Ασκήσεις .....	450

## 8ο Κεφάλαιο

**Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας**

---

8.1	Οι πηγές ενέργειας .....	459
8.1.1.	Οι συμβατικές πηγές ενέργειας .....	459
8.1.2.	Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας .....	461
8.2	Η φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια .....	463
8.2.1.	Ο Ήλιος ως πηγή ενέργειας .....	463
8.2.2.	Εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας .....	465
	Παράρτημα Α .....	473
	Παράρτημα Β .....	481
	Παράρτημα Γ .....	484
	Βιβλιογραφία .....	487
	Ευρετήριο .....	489