

Βιβλίο του καθηγητή

Φυσική Θετικής & Τεχνολογικής
κατεύθυνσης

Γ' τάξη
Ενιαίου Λυκείου

**Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και
Θρησκευμάτων
Παιδαγωγικό Ινστιτούτο**

**ΑΛΕΚΟΣ ΙΩΑΝΝΟΥ - ΓΙΑΝΝΗΣ ΝΤΑΝΟΣ
ΑΓΓΕΛΟΣ ΠΗΤΤΑΣ - ΣΤΑΥΡΟΣ ΡΑΠΤΗΣ**

Βιβλίο του καθηγητή
**Φυσική Θετικής & Τεχνολογικής
κατεύθυνσης**

**Γ' τάξη
Ενιαίου Λυκείου**

**ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΚΔΟΣΕΩΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ ΒΙΒΛΙΩΝ
ΑΘΗΝΑ 2000**

Ε.Π.Ε.Α.Ε.Κ.

Υποπρόγραμμα 1: ΓΕΝΙΚΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

Μέτρο 1.1: ΑΝΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΓΕΝΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

Ενέργεια 1.1α: Προγράμματα – βιβλία

ΕΡΓΟ: ΑΝΑΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΚΑΙ ΕΚΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΤΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΜΕ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ
ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

Με απόφαση της ελληνικής κυβέρνησεως τα διδακτικά βιβλία του Δημοτικού, του Γυμνασίου και του Λυκείου τυπώνονται από τον Οργανισμό Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων και διανέμονται δωρεάν.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το “βιβλίο του καθηγητή” είναι αναπόσπαστο τμήμα ενός ευρύτερου συνόλου που περιλαμβάνει το αντίστοιχο βιβλίο του μαθητή και τον εργαστηριακό οδηγό.

Γράφοντας αυτό το βιβλίο νιώσαμε πολλές φορές αμήχανοι. Απευθύνεται σε συνάδελφους που γνωρίζουν καλά το επιστημονικό αντικείμενο που διαπραγματεύεται το βιβλίο και έχουν μεγάλη εμπειρία στη διδασκαλία της φυσικής.

Στο πρώτο μέρος του, το βιβλίο παρακολουθεί τη διδακτέα ύλη ανά κεφάλαιο και – λεπτομερέστερα- ανά διδακτική ενότητα. Σε κάθε κεφάλαιο προτάσσονται αυτούσια, με διαφορετικούς χαρακτήρες, οι στόχοι διδασκαλίας, όπως έχουν καταγραφεί στα «Προγράμματα Σπουδών Πρωτοβάθμιας και Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης – Φυσικές επιστήμες». Ακολουθούν επιμέρους στόχοι που πρέπει να υπηρετηθούν κατά τη διδασκαλία, σύμφωνα με τη δική μας άποψη.

Στη συνέχεια παρατίθεται ένας πίνακας με μικρό αριθμό ασκήσεων ή προβλημάτων που κατά τη γνώμη μας αντιπροσωπεύουν το κεφάλαιο και είναι σκόπιμο να λυθούν στην τάξη.

Ακολουθούν για κάθε διδακτική ενότητα επισημάνσεις, παρατηρήσεις και σχόλια καθώς και κάποιες πρόσθετες πληροφορίες - όπως οι διαφορικές εξισώσεις της μηχανικής και της ηλεκτρικής ταλάντωσης- που σε καμιά περίπτωση δεν αποτελούν διδακτικές προτάσεις. Συχνά προτείνονται απλά πειράματα επίδειξης που ίσως διευκολύνουν την κατανόηση κάποιων εννοιών.

Στο τέλος κάθε ενότητας αναφέρονται οι διαφάνειες που αντιστοιχούν σ’ αυτήν. Οι διαφάνειες περιέχονται στο CD-ROM που συνοδεύει το βιβλίο και, σύμφωνα με τις οδηγίες του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου, πρέπει να εκτυπωθούν από τον καθηγητή. Οι διαφάνειες που έχουν τον ίδιο αύξοντα αριθμό και διακρίνονται μεταξύ τους από ένα γράμμα (π.χ Γ-3.2α, Γ-3.2β, ...) αφορούν στο ίδιο θέμα και αν προβληθούν διαδοχικά, η μια πάνω στην άλλη, δείχνουν την εξέλιξη κάποιου φαινομένου.

Οι διαφάνειες είναι αρχεία .Cdr. (CorelDraw 6 ή ανώτερο) και .tiff (οποιοδήποτε πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνας). Εάν οι υπολογιστές του σχολείου δεν έχουν τα κατάλληλα προγράμματα οι διαφάνειες μπορούν να εισαχθούν σε αρχεία του word με τη διαδικασία Menu – Insert picture – from file και να τυπωθούν ως αρχεία .doc του word.

Τέλος, σημειώνονται οι συνθήκες υπό τις οποίες πραγματοποιήθηκαν τα πειράματα του εργαστηριακού οδηγού και οι δυσκολίες που συναντήσαμε στην πραγματοποίησή τους.

Στο δεύτερο μέρος του, το βιβλίο περιέχει τις λύσεις των ασκήσεων που περιέχονται στο βιβλίο του μαθητή.

Η πίεση του χρόνου δε μας επέτρεψε να επεξεργαστούμε τα δεδομένα και τα αποτελέσματα των ασκήσεων και των προβλημάτων όσον αφορά στα σημαντικά ψηφία. Ζητάμε την κατανόησή σας. Η επόμενη έκδοση του βιβλίου θα είναι απαλλαγμένη από αυτή την ατέλεια.

Θέλουμε να διευκρινίσουμε ότι η διδακτέα ύλη και ο συμβολισμός που ακολουθήσαμε δεν αποτέλεσε επιλογή μας και δεν αισθανόμαστε υπόλογοι γι' αυτά. Αντίθετα, μας ανήκει ολόκληρη η ευθύνη για τον τρόπο με τον οποίο διαπραγματευτήκαμε τη διδακτέα ύλη.

Οι δικές σας παρατηρήσεις, που τις περιμένουμε στην ηλεκτρονική διεύθυνση aiioanno@otenet.gr, θα επιτρέψουν να βελτιωθεί το βιβλίο σε επόμενη έκδοσή του.

Οι συγγραφείς

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ *

	Κεφάλαιο	Διδακτικές ώρες	Υποχρεωτικές εργαστηριακές ασκήσεις
1	Ηλεκτρικές και μηχανικές ταλαντώσεις	8	Μέτρηση άγνωστης συχνότητας εναλλασσόμενης τάσης με παλμογράφο.
2	Κύματα	8	1) Συμβολή κυμάτων με τη λεκάνη κυματισμών - Μέτρηση της συχνότητας μονοχρωματικής ακτινοβολίας. 2) Μελέτη στάσιμων ηχητικών κυμάτων σε σωλήνα και προσδιορισμός του φαινόμενου μήκους του σωλήνα.
3	Ρευστά σε κίνηση	6	
4	Μηχανική του στερεού σώματος	8	1) Προσδιορισμός της ροπής αδράνειας κυλίνδρου κυλιομένου σε πλάγιο επίπεδο. 2) Έλεγχος της αρχής διατήρησης της ενέργειας με σφαίρα κυλιόμενη σε πλάγιο επίπεδο με ανακύκλωση.
5	Κρούσεις και σχετικές κινήσεις	9	Μελέτη της ελαστικής και μη ελαστικής κρούσης στο επίπεδο και έλεγχος των αρχών διατήρησης ορμής και ενέργειας.
6	Σχετικότητα	9	
7	Στοιχεία κβαντομηχανικής	12	Μελέτη φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Προσδιορισμός του έργου εξαγωγής από ένα μέταλλο και η σταθερά του Planck.
	ΣΥΝΟΛΟ	60	

* Η κατανομή του διδακτικού χρόνου ανά κεφάλαιο έγινε από την επιτροπή σύνταξης αναλυτικών προγραμμάτων.

Στον χρόνο που διατίθεται για τη διδασκαλία του μαθήματος, ο διδάσκων, πέρα από την προβλεπόμενη από το αναλυτικό πρόγραμμα ύλη, πρέπει να ασχοληθεί και με τη διαπραγμάτευση ορισμένων απαραίτητων εννοιών οι οποίες έχουν διδαχτεί σε προηγούμενες τάξεις.

Στο βιβλίο του μαθητή φροντίσαμε να προτάξουμε σε κάθε ενότητα τις έννοιες εκείνες που αποτελούν προαπαιτούμενο για τη διδασκαλία της. Εάν ο διδάσκων διαπιστώσει ότι οι μαθητές γνωρίζουν σε ικανοποιητικό βαθμό τις βασικές αυτές έννοιες, μπορεί να παραλείψει τη διδασκαλία τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ

Στόχοι:

Σύμφωνα με το πρόγραμμα σπουδών, με την ολοκλήρωση της διδασκαλίας του κεφαλαίου αυτού, ο μαθητής πρέπει να μπορεί:

- Να διατυπώνει με λόγια και με τύπους τις διάφορες μορφές μηχανικής και ηλεκτρικής ταλάντωσης και να διακρίνει τις κοινές ιδιότητές τους.
- Να διατυπώνει ποιοτικά και ποσοτικά το φαινόμενο του συντονισμού και να αναφέρει πιθανές τεχνολογικές συνέπειές του.
- Να συνθέτει απλές αρμονικές ταλαντώσεις.
- Να σχεδιάζει και να εκτελεί απλά πειράματα μηχανικών και ηλεκτρικών ταλαντώσεων.

Ειδικότερα, κατά τη δική μας γνώμη, μετά τη διδασκαλία αυτού του κεφαλαίου ο μαθητής πρέπει:

- Να μπορεί, όταν είναι γνωστές οι δυνάμεις που ασκούνται σε ένα σώμα, να αποφασίζεται ότι εκτελεί αρμονική ταλάντωση και να περιγράφει μαθηματικά την κίνηση αυτή.
- Να μπορεί να γράφει τις εξισώσεις που δίνουν την ενέργεια του σώματος στις διάφορες θέσεις και να αναγνωρίζει τις ενεργειακές μετατροπές που συντελούνται στη διάρκεια της ταλάντωσης.
- Να μπορεί να προβλέπει αν μια ταλάντωση είναι αμείωτη ή φθίνουσα.
- Να είναι ικανός να διακρίνει την εξαναγκασμένη από την ελεύθερη ταλάντωση και να γνωρίζει τις προϋποθέσεις υπό τις οποίες το πλάτος της εξαναγκασμένης ταλάντωσης γίνεται μέγιστο.
- Να κατανοήσει ότι το πλάτος της ταλάντωσης δεν επηρεάζει την περίοδό της.
- Να γνωρίσει το μηχανισμό παραγωγής ηλεκτρικών ταλαντώσεων και τις αναλογίες μεταξύ ηλεκτρικών και μηχανικών ταλαντώσεων.

Πίνακας προτεινόμενων ασκήσεων και προβλημάτων

Ενότητα	Προτεινόμενες ασκήσεις	Προτεινόμενα προβλήματα
1. Περιοδικά φαινόμενα Απλή αρμονική ταλάντωση	1.27	1.40 1.46 1.50
2. Ηλεκτρικές ταλαντώσεις	1.31	
3. Φθίνουσες ταλαντώσεις	1.42	
4. Εξαναγκασμένες ταλαντώσεις Συντονισμός	1.32	
5. Σύνθεση ταλαντώσεων	1.34, 1.36, 1.37	

Ενότητα 1

Περιοδικά φαινόμενα - Απλή αρμονική ταλάντωση.

α. Οι μαθητές έχουν έλθει σε επαφή με τις μηχανικές ταλαντώσεις στο πρόγραμμα των μαθημάτων της β' τάξης λυκείου. Το Πρόγραμμα Σπουδών της τάξης αυτής περιορίζει την εξέταση του φαινομένου στην ταλάντωση με ελατήριο και το απλό εκκρεμές. Θεωρήσαμε σκόπιμο να επαναλάβουμε μερικές βασικές έννοιες, φροντίζοντας ταυτόχρονα να γενικεύσουμε το φαινόμενο της αρμονικής ταλάντωσης.

Η ενότητα αυτή, επομένως, δεν αποτελεί μέρος του προγράμματος αυτής της τάξης.

β. Η εικ.1.1 είναι μια χρονοφωτογραφία ενός εκκρεμούς που ταλαντώνεται και δείχνει τα διαδοχικά στιγμιότυπα της κίνησής του. Έχει ενδιαφέρον να ερωτηθούν οι μαθητές πώς από την εικόνα αυτή μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η κίνηση του εκκρεμούς είναι ανισοταχής. Το ίδιο ισχύει και με την εικόνα 1.2, όπου, επιπλέον, τα στιγμιότυπα της ταλάντωσης του σώματος είναι οριζόντια μετατοπισμένα.

γ. Είναι χρήσιμο να τονιστεί ότι η «δύναμη επαναφοράς» που προκαλεί την αρμονική ταλάντωση δεν είναι μια επιπλέον δύναμη που ασκείται στο ταλαντούμενο σώμα αλλά η συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται σε αυτό και ότι η σταθερά επαναφοράς προκύπτει από τη σχέση $F=f(x)$.

δ. Είναι, επίσης, χρήσιμο να διευκρινιστεί ότι όταν το σώμα εκτρέπεται από τη θέση ισορροπίας και αφήνεται ελεύθερο τη χρονική στιγμή $t=0$, η ταλάντωση που κάνει έχει πλάτος ίσο με την αρχική απομάκρυνση και αρχική φάση ίση με $\pi/2$.

ε. Ένα ελατήριο σχετικά μεγάλου μήκους, από το οποίο έχουμε κρεμάσει κάποιο βάρος, θα μπορούσε να βοηθήσει στην κατανόηση των εννοιών που αναπτύσσονται στην ενότητα αυτή, όπως είναι το πλάτος, η περίοδος της ταλάντωσης, η θέση ισορροπίας και άλλα στοιχεία που αναφέρονται στην κινηματική της αρμονικής ταλάντωσης.

Με το ελατήριο αυτό μπορούμε εύκολα να δείξουμε ότι η περίοδος της ταλάντωσης δεν εξαρτάται από το πλάτος της - αρκεί να μετρήσουμε την περίοδο της ταλάντωσης για δυο διαφορετικές τιμές του πλάτους, π.χ 3 cm και 6cm.

Την εξάρτηση της περιόδου από τα κατασκευαστικά στοιχεία του ταλαντωτή μπορούμε να τη δείξουμε εύκολα με απλά πειράματα, όπως:

i. Χρησιμοποιούμε δύο διαφορετικά ελατήρια (διαφορετικής σκληρότητας) από τα οποία έχουμε κρεμάσει σώματα ίσων μαζών και προκαλούμε την ίδια απομάκρυνση στα δυο σώματα. Αφήνουμε τα σώματα να ταλαντωθούν και μετράμε την περίοδο καθενός.

ii. Χρησιμοποιούμε δυο όμοια ελατήρια από τα οποία έχουμε κρεμάσει σώματα διαφορετικών μαζών και απομακρύνουμε τα σώματα από τη θέση ισορροπίας τους (φροντίζοντας οι απομακρύνσεις να είναι ίδιες). Αφήνουμε τα σώματα να ταλαντωθούν και μετράμε την περίοδο καθενός.

στ. Τα προβλήματα 1.41, 1.47, 1.49 αναφέρονται στο φαινόμενο της κρούσης. Τα προβλήματα αυτά αντιμετωπίζονται με βάση την αρχή διατήρησης της ορμής, που είναι γνωστή στους μαθητές. Ωστόσο, αν ο διδάσκων κρίνει ότι οι γνώσεις των μαθητών του είναι ανεπαρκείς μπορεί να ασχοληθεί μαζί τους μετά την ανάπτυξη των κρούσεων (κεφ.5).

ζ. Στην ενότητα αυτή αντιστοιχούν οι διαφάνειες

Γ-1.1 Σώμα που εκτελεί απλή αρμονική ταλάντωση, αφήνει το ίχνος του σε χαρτί που κινείται με σταθερή ταχύτητα. Στο χαρτί σχηματίζεται το διάγραμμα απομάκρυνσης - χρόνου.

Γ-1.2α,β,γ Τα διαγράμματα της απομάκρυνσης, της ταχύτητας και της επιτάχυνσης στην απλή αρμονική ταλάντωση.

Σχηματικό διάγραμμα που δείχνει τις τιμές της ταχύτητας και της επιτάχυνσης του ταλαντωτή στις διάφορες θέσεις του.

Γ-1.3 Η εξέλιξη της ταχύτητας και της επιτάχυνσης κατά τη διάρκεια μιας αρμονικής ταλάντωσης. Στη σχηματική παράσταση φαίνεται σε ποιες θέσεις και ποιες χρονικές στιγμές τα μεγέθη μηδενίζονται και σε ποιες μεγιστοποιούνται.

Γ-1.4 Τα διαγράμματα της δυναμικής ενέργειας (U) της κινητικής (K) και της ολικής ενέργειας σε συνάρτηση με το χρόνο στην αμείωτη αρμονική ταλάντωση.

Ενότητα 2

Ηλεκτρικές ταλαντώσεις

α. Είναι σκόπιμο πριν την ανάπτυξη αυτής της ενότητας να γίνει αναφορά στο φαινόμενο της αυτεπαγωγής και να δοθεί η σχέση που δίνει την ενέργεια του μαγνητικού πεδίου.

β. Η ηλεκτρική ταλάντωση που περιγράφεται στο κεφάλαιο αυτό γίνεται χωρίς απώλειες ενέργειας. Όμως πρέπει να τονιστεί στους μαθητές ότι ελεύθερη αμείωτη ηλεκτρική ταλάντωση δεν είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί.

γ. Η μεταβολή του φορτίου στον πυκνωτή είναι της μορφής $q = Q \sin \omega t = Q \eta \mu(\omega t + \pi/2)$. Αντίστοιχα, το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα δίνεται από τη σχέση $i = I \eta \mu \omega t = I \sigma \nu \nu(\omega t + \pi/2)$.

Οι εξισώσεις θυμίζουν τις εξισώσεις της απομάκρυνσης και της ταχύτητας ενός σώματος που κάνει αρμονική ταλάντωση με αρχική φάση ίση με $\pi/2$. Από τη σύγκριση των εξισώσεων φαίνεται ότι υπάρχει αναλογία μεταξύ αρμονικής μηχανικής και αρμονικής ηλεκτρικής ταλάντωσης και αντιστοιχία μεταξύ των μεγεθών ηλεκτρικό φορτίο - απομάκρυνση και ηλεκτρικό ρεύμα - ταχύτητα. Ωστόσο η αναλογία είναι μόνο φαινομενική, αφού πρόκειται για διαφορετικά φαινόμενα. Η αναλογία αυτή φαίνεται αμεσότερα αν γράψουμε τις διαφορικές εξισώσεις για τα δύο φαινόμενα:

Στο ταλαντούμενο σύστημα του σχήματος 1.16 η δύναμη επαναφοράς δίνεται από τη σχέση

$$F = ma \quad \text{ή} \quad -Kx = ma \quad \text{ή} \quad -Kx = m \frac{d^2 x}{dt^2} \quad \text{ή} \quad \frac{d^2 x}{dt^2} = -\frac{K}{m} x \quad (1),$$

$$\text{η οποία, αν θέσουμε } \omega^2 = \frac{K}{m}, \text{ παίρνει τη μορφή } \frac{d^2 x}{dt^2} = -\omega^2 x \quad (2)$$

Λύση της (2) είναι η $x = A \sin(\omega t + \varphi)$ όπου η φ προσδιορίζεται από τις αρχικές συνθήκες.

Στην περίπτωση στην οποία το σώμα τη χρονική στιγμή $t=0$ περνάει από τη θέση ισορροπίας και κινείται κατά τη θετική φορά η λύση της εξίσωσης παίρνει τη μορφή $x = A \eta \mu \omega t$

Στο κύκλωμα LC ισχύουν

$$V_C = \frac{q}{C} \quad \text{και} \quad I = -\frac{dq}{dt}, \quad \text{επομένως} \quad \frac{dI}{dt} = -\frac{d^2 q}{dt^2}$$

Το άθροισμα των τάσεων κατά μήκος του κυκλώματος είναι μηδέν. Μπορούμε, επομένως, να γράψουμε

$$V_L + V_C = 0 \quad \text{ή} \quad -L \frac{dI}{dt} + \frac{q}{C} = 0 \quad \text{ή} \quad L \frac{d^2 q}{dt^2} + \frac{q}{C} = 0$$

$$\text{άρα} \quad \frac{d^2 q}{dt^2} = -\frac{1}{LC} q \quad (3)$$

Από τη σύγκριση των εξισώσεων (1) και (3) προκύπτει η αντιστοιχία $x \leftrightarrow q$.

$$\text{Από αυτήν προκύπτει η αντιστοιχία} \quad \frac{1}{2} K x^2 \leftrightarrow \frac{1}{2} \frac{q^2}{C},$$

$$\text{από την οποία προκύπτει} \quad K \leftrightarrow \frac{1}{C}$$

$$\text{και τελικά πάλι από τις (1) και (3)} \quad m \leftrightarrow L$$

$$\text{Αν στην (3) θέσουμε } \omega^2 = \frac{1}{LC} \text{ γίνεται } \frac{d^2 q}{dt^2} = -\omega^2 q$$

Επομένως θα έχουμε ως λύση την $q = Q \sin(\omega t + \varphi)$, όπου το φ προσδιορίζεται από τις αρχικές συνθήκες.

δ. Στην ενότητα αυτή αντιστοιχούν οι διαφάνειες

Γ-1.5α,β Αναλογία μεταξύ ηλεκτρικής και μηχανικής ταλάντωσης.

Γ-1.6α Διαγράμματα του φορτίου και του ρεύματος, στην αμείωτη ηλεκτρική ταλάντωση, σε συνάρτηση με το χρόνο

Γ-1.6β Τα διαγράμματα της ενέργειας του ηλεκτρικού πεδίου (U_E), της ενέργειας του μαγνητικού πεδίου (U_B) και της ολικής ενέργειας (E) σε κύκλωμα L-C που εκτελεί αμείωτη ηλεκτρική ταλάντωση.

Ενότητα 3

Φθίνουσες ταλαντώσεις

α. Η συζήτηση της ενότητας μπορεί να ξεκινήσει με την παρατήρηση ότι ο όρος για την πραγματοποίηση αμείωτης (μηχανικής και ηλεκτρικής) ταλάντωσης, η απουσία τριβών και αντιστάσεων, δεν εκπληρώνεται στην πράξη, με αποτέλεσμα οι (ελεύθερες) ταλαντώσεις να είναι φθίνουσες.

β. Η δύναμη που αντιστέκεται στην κίνηση ενός ταλαντούμενου σώματος δεν υπακούει πάντα στη σχέση $F = -bv$. Αν υπακούει σε αυτή τη σχέση ισχύουν όσα αναφέρονται στο βιβλίο του μαθητή για τη μείωση του πλάτους.

γ. Η εξάρτηση της περιόδου από το συντελεστή b :

Αν το σώμα που ταλαντώνεται δέχεται δύναμη της μορφής $F = -bv$ μπορούμε να γράψουμε

$$\Sigma F = -Dx - bv = ma \quad \text{ή} \quad -Dx - b \frac{dx}{dt} = m \frac{d^2x}{dt^2}$$

Λύση της διαφορικής εξίσωσης είναι η $x = Ae^{-\frac{b}{2m}t} \sigma \upsilon \nu(\omega t + \theta)$ (1)

όπου

$$\omega = \sqrt{\frac{D}{m} - \left(\frac{b}{2m}\right)^2} \quad (2)$$

Από την (1) φαίνεται ότι το πλάτος άρα και η ενέργεια της ταλάντωσης, μειώνεται εκθετικά. Ο ρυθμός με τον οποίο μειώνεται το πλάτος της ταλάντωσης - και κατά συνέπεια και η ενέργεια του συστήματος - μεγαλώνει όταν αυξάνεται τιμή του b .

Από τη σχέση (2) φαίνεται ότι όταν αυξάνεται το b η περίοδος της ταλάντωσης αυξάνεται και όταν πάρει την τιμή $b = 2m\sqrt{\frac{D}{m}}$ θα είναι $\omega = 0$. Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα δεν ταλαντώνεται. Απλώς επανέρχεται αργά στη θέση ισορροπίας όπου και σταματά (κρίσιμη απόσβεση).

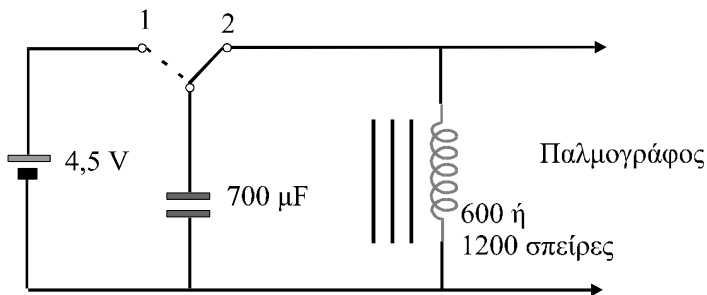
Αντίστοιχα, στο κύκλωμα R-L-C σύμφωνα με το δεύτερο κανόνα του Kirchhoff

$$E_{\text{AYT}} - IR + V_C = 0 \quad \text{ή} \quad L \frac{d^2 q}{dt^2} - IR + \frac{q}{C} = 0 \quad \text{ή} \quad L \frac{d^2 q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = 0$$

$$\text{Η λύση της είναι } q = Qe^{-\frac{R}{2L}t} \sin(\omega t + \theta) \quad \text{όπου} \quad \omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}$$

δ. Η διαπραγμάτευση της ενότητας γίνεται πληρέστερη με την επίδειξη μιας μηχανικής και μιας ηλεκτρικής φθίνουσας ταλάντωσης.

- i. Χρησιμοποιούμε ένα ελατήριο από το οποίο έχουμε κρεμάσει ένα μικρό βάρος. Μετράμε τη συχνότητα ταλάντωσης αυτού του σώματος στον αέρα και στο νερό και συγκρίνουμε τα χρονικά διαστήματα που απαιτούνται για να μηδενιστεί το πλάτος σε κάθε μια από τις περιπτώσεις. (Είναι ευνόητο ότι η σύγκριση έχει νόημα μόνο στην περίπτωση που το αρχικό πλάτος της ταλάντωσης είναι το ίδιο)



- ii. Πραγματοποιούμε το κύκλωμα του σχήματος. Η πηγή E είναι ένα ηλεκτρικό στοιχείο 4,5V. Το πηνίο (1200 ή 600 σπειρών) τοποθετείται σε πυρήνα λυόμενου μετασχηματιστή, προσαρμοσμένο στη βάση του. Ο πυκνωτής (που δεν πρέπει να είναι ηλεκτρολυτικός) έχει μεγάλη χωρητικότητα (στο πείραμα που κάναμε εμείς χρησιμοποιήσαμε επτά πυκνωτές των 100 μF σε παράλληλη

σύνδεση). Η έξοδος του κυκλώματος συνδέεται στους ακροδέκτες κατακόρυφης απόκλισης ενός καθοδικού παλμογράφου στον οποίο έχουμε ρυθμίσει τη συχνότητα εσωτερικής σάρωσης στην περιοχή 10-100 Hz.

Φορτίζουμε τον πυκνωτή (ο διακόπτης στη θέση 1) και στη συνέχεια τον αποφορτίζουμε μέσω του πηνίου (ο διακόπτης στη θέση 2). Στην οθόνη του παλμογράφου φαίνεται η μορφή της φθίνουσας ηλεκτρικής ταλάντωσης του κυκλώματος.

ε. Στην ενότητα αντιστοιχούν οι διαφάνειες

Γ-1.7 Διάταξη για τη μελέτη της φθίνουσας ταλάντωσης - Τα διαγράμματα της απομάκρυνσης - χρόνου για διάφορες τιμές της σταθεράς απόσβεσης.

Γ-1.8 Φθίνουσα ηλεκτρική ταλάντωση. Το κύκλωμα παραγωγής της ταλάντωσης, τα διαγράμματα ρεύματος - χρόνου για διάφορες τιμές της ωμικής αντίστασης του κυκλώματος.

Ενότητα 4:

Εξαναγκασμένες ταλαντώσεις- συντονισμός.

α. Η διδασκαλία της ενότητας αυτής μπορεί να αρχίσει με την επίδειξη της εξαναγκασμένης ταλάντωσης που περιγράφεται στη δραστηριότητα 1 της σελίδας 30.

β. Στην εξαναγκασμένη ταλάντωση, το πλάτος που αντιστοιχεί σε συχνότητα που τείνει στο μηδέν ($f \rightarrow 0$) εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο προσφέρεται η ενέργεια. Στην πειραματική διάταξη που περιγράφεται στο βιβλίο του μαθητή, το πλάτος της ταλάντωσης είναι ίσο με την απόσταση του σημείου στο οποίο έχει προσδεθεί το νήμα από το κέντρο του στρεφόμενου τροχού.

γ. Καλό είναι να τονιστεί ότι στην περίπτωση της εξαναγκασμένης ταλάντωσης η αύξηση της σταθεράς απόσβεσης συνεπάγεται μετατόπιση της ιδιοσυχνότητας προς τις μικρότερες συχνότητες.

δ. Στο βιβλίο του μαθητή αναφέρεται ότι το πλάτος της εξαναγκασμένης ταλάντωσης γίνεται μέγιστο όταν η συχνότητα του διεγέρτη είναι ίδια με την ιδιοσυχνότητα του ταλαντωτή. Στην πραγματικότητα συντονισμός παρατηρείται και όταν η περίοδος του διεγέρτη είναι πολλαπλάσια της περιόδου του ταλαντωτή.

ε. Στις «δραστηριότητες» της σελ. 30 προτείνονται διάφορες τεχνικές για την πραγματοποίηση εξαναγκασμένης μηχανικής ταλάντωσης.

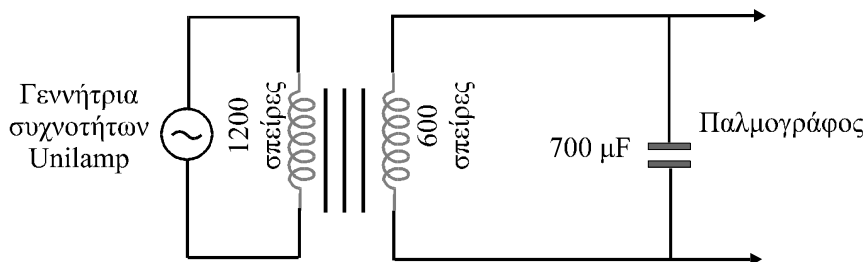
Ένας απλός τρόπος να δείξουμε στους μαθητές την εξαναγκασμένη ταλάντωση και την περίπτωση του συντονισμού είναι να πάρουμε ένα σώμα που μπορεί να κάνει ταλάντωση (π.χ. ένα μενταγιόν) και να το διεγείρουμε σε ταλάντωση φυσώντας το περιοδικά. Μεταβάλλοντας τη συχνότητα με την οποία το φυσάμε, για κάποια συχνότητα θα πετύχουμε συντονισμό.

στ. Στο σχολικό εργαστήριο είναι εύκολο να παρακολουθήσουμε μια εξαναγκασμένη ηλεκτρική ταλάντωση:

Στα δυο σκέλη του πυρήνα λυόμενου μετασχηματιστή, τοποθετούνται δυο πηνία, 1200 και 600 σπειρών. Το πηνίο των 1200 σπειρών συνδέεται με τη γεννήτρια συχνοτήτων (χρησιμοποιήθηκε γεννήτρια Unilamp) ενώ το πηνίο των 600 σπειρών συνδέεται με πυκνωτή (χρησιμοποιήθηκε σύστημα πυκνωτών συνολικής χωρητικότητας 700μF) και με τους ακροδέκτες κατακόρυφης απόκλισης του παλμογράφου. Όταν κλείσει το κύκλωμα του πρωτεύοντος πηνίου, στην οθόνη του παλμογράφου παρατηρούμε την κυματομορφή της εξαναγκασμένης ηλεκτρικής ταλάντωσης. Παρατηρούμε ότι όταν μεταβάλλεται η συχνότητα της πηγής μεταβάλλεται το πλάτος της εξαναγκασμένης ταλάντωσης, που γίνεται μέγιστο για ορισμένη τιμή της συχνότητας (για το συνδυασμό πηνίου- πυκνωτή που χρησιμοποιήθηκε ήταν 20 Hz).

Σημείωση 1: Η αυξομείωση του πλάτους φαίνεται καλύτερα αν καταργήσουμε την εσωτερική σάρωση του παλμογράφου οπότε το ίχνος της δέσμης κινείται κατακόρυφα.

Σημείωση 2: Με το πείραμα επαληθεύεται η πρόταση ότι η συχνότητα συντονισμού συμπίπτει με την ιδιοσυχνότητα του κυκλώματος



ζ. Στη δραστηριότητα 2, που αναφέρεται στο συντονισμό, πρέπει να χρησιμοποιηθεί κουτί αναψυκτικού από υλικό που έχει ελαστικότητα.

η. Στην ενότητα αντιστοιχούν οι διαφάνειες

Γ-1.9 Διάταξη για τη μελέτη της εξαναγκασμένης ταλάντωσης. (α) Το διάγραμμα του πλάτους της εξαναγκασμένης ταλάντωσης σε συνάρτηση με τη συχνότητα του διεγέρτη. (β) Το ίδιο διάγραμμα στην ιδανική περίπτωση που δεν θα υπήρχαν αποσβέσεις.

Γ-1.10 Διάταξη για τη μελέτη του φαινομένου του συντονισμού για διάφορες τιμές της σταθεράς απόσβεσης. Οι γραφικές απεικονίσεις του πλάτους της εξαναγκασμένης ταλάντωσης σε συνάρτηση με τη συχνότητα του διεγέρτη, για διάφορες τιμές της σταθεράς απόσβεσης.

Γ-1.11 Εφαρμογές του συντονισμού. Η εξαναγκασμένη ταλάντωση ενός κτιρίου. Η εξαναγκασμένη ταλάντωση μιας γέφυρας.

Γ-1.12 Η κρεμαστή γέφυρα του ποταμού Tacoma. Η γέφυρα κατέρρευσε λόγω συντονισμού. (Το ρόλο του διεγέρτη είχε ο άνεμος).

Ενότητα 5:

Σύνθεση ταλαντώσεων

α. Οι μαθητές έχουν εξοικειωθεί με την αρχή της επαλληλίας των κινήσεων και επομένως είναι εύκολο λοιπόν να δουν τη σύνθεση των ταλαντώσεων σαν ειδική περίπτωση εφαρμογής αυτής της αρχής.

β. Όλες οι περιπτώσεις σύνθεσης ταλαντώσεων που αναπτύσσονται στο βιβλίο του μαθητή αναφέρονται σε ταλαντώσεις που γίνονται στην ίδια διεύθυνση. Πρέπει να επιστήσουμε την προσοχή των μαθητών στο ότι υπάρχουν και περιπτώσεις στις οποίες οι επιμέρους ταλαντώσεις γίνονται σε διαφορετικές διευθύνσεις.

γ. Είναι σκόπιμο, μετά την ολοκλήρωση της διδασκαλίας της ενότητας αυτής να πραγματοποιηθεί η εργαστηριακή άσκηση «Μέτρηση άγνωστης συχνότητας με τον καθοδικό παλμογράφο».

Στον εργαστηριακό οδηγό περιγράφονται τρεις τρόποι μέτρησης της άγνωστης συχνότητας, μεταξύ των οποίων η μέτρηση μέσω των εικόνων Lissajous και με το σχηματισμό διακροτήματος. Οι μέθοδοι αυτές συμπεριλήφθηκαν στον οδηγό για να δοθεί η ευκαιρία στους μαθητές να μελετήσουν τη σύνθεση δύο ταλαντώσεων που γίνεται στην ίδια διεύθυνση καθώς και τη σύνθεση ταλαντώσεων που γίνονται σε κάθετες διευθύνσεις.

Όπως αναφέρεται και στο βιβλίο του εργαστηρίου, με εξαίρεση τις γεννήτριες Unilamb και BioNik, οι γεννήτριες που διαθέτουν τα σχολικά εργαστήρια δεν δίνουν αρμονικό σήμα και η πραγματοποίηση διακροτήματος με αυτές είναι προβληματική.

δ. Στην ενότητα αντιστοιχούν οι διαφάνειες:

Γ-1.13 Σώμα που συμμετέχει σε δυο ταλαντώσεις της ίδιας διεύθυνσης γύρω από το ίδιο κέντρο ισορροπίας- Εφαρμογή της αρχής της επαλληλίας.

Γ-1.14α,β Σχηματισμός διακροτήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

Στόχοι:

Σύμφωνα με το πρόγραμμα σπουδών, με τη διδασκαλία αυτής της ενότητας επιδιώκεται ο μαθητής να καταστεί ικανός:

- Να διακρίνει και να συγκρίνει τις ιδιότητες και τη συμπεριφορά μεταξὺ κίνησης σώματος και κύματος.
- Να περιγράφει ποιοτικά και ποσοτικά τα φαινόμενα ανάκλασης, διάθλασης, επαλληλίας και συμβολής κυμάτων.
- Να περιγράφει τους μηχανισμούς παραγωγής, διάδοσης και λήψης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Ειδικότερα, κατά τη δική μας γνώμη, μετά τη διδασκαλία αυτού του κεφαλαίου ο μαθητής πρέπει:

- Να έχει συνειδητοποιήσει ότι κατά τη διάδοση του κύματος δε μεταφέρεται ὕλη ἀλλὰ ἐνέργεια.
- Να εἶναι σε θέση να περιγράψει με μαθηματικό τρόπο ἓνα ἀπλό αρμονικό κύμα.
- Να διακρίνει την ταχύτητα διάδοσης του κύματος ἀπὸ την ταχύτητα με την οποία ταλαντώνονται τα μόρια του ελαστικού μέσου.
- Να συνειδητοποιήσει ὅτι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, σε ἀντίθεση με τα μηχανικά κύματα διαδίδονται στο κενό.
- Να κατανοήσει ὅτι, παρὰ το διαφορετικό μήκος κύματος και το διαφορετικό μηχανισμό παραγωγῆς τους, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ἔχουν κοινές ιδιότητες.
- Να κατανοήσει τα φαινόμενα της ἀνάκλασης και της διάθλασης.

Πίνακας προτεινόμενων ασκήσεων - προβλημάτων

Ενότητα	Προτεινόμενες ασκήσεις	Προτεινόμενα προβλήματα
1. Μηχανικά κύματα	2.30, 2.31	2.47 2.48 2.49 2.52
2. Επαλληλία κυμάτων Συμβολή κυμάτων στην επιφάνεια υγρού	2.34	
3. Στάσιμα κύματα	2.33	
4. Παραγωγή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων Μετάδοση σημάτων με ηλεκτρομαγνητικά κύματα Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας	2.37	
5. Ανάκλαση και διάθλαση Ολική εσωτερική ανάκλαση Διασκεδασμός του φωτός	2.44, 2.44	

Ενότητα 1

Μηχανικά κύματα

α. Η ενότητα αυτή προτάχθηκε για να υπενθυμίσει στους μαθητές έννοιες που τους είναι γνωστές από προηγούμενη τάξη. Ο διδάσκων μπορεί, αν κρίνει ότι οι μαθητές του γνωρίζουν τις αντίστοιχες έννοιες να παραλείψει τη διδασκαλία της.

β. Όπως τονίζεται στην υποσημείωση της σελ. 47, η εξίσωση του κύματος προέκυψε με το συλλογισμό ότι όλα τα σημεία του ελαστικού μέσου ταλαντώνονται με το ίδιο πλάτος. Αυτό μπορεί να συμβεί μόνο στην περίπτωση κυμάτων που διαδίδονται χωρίς απώλειες ενέργειας κατά μήκος γραμμικών μέσων.

γ. Η γραφική παράσταση $y=f(x)$, της απομάκρυνσης των σημείων του ελαστικού μέσου σε συνάρτηση με την απόσταση από την πηγή έχει την ίδια μορφή και για τα εγκάρσια και για τα διαμήκη αρμονικά κύματα. Στην περίπτωση των εγκάρσιων κυμάτων η γραφική παράσταση θα έχει τη μορφή

που θα έχει το ελαστικό μέσο στο οποίο διαδίδεται το κύμα. Αποτελεί δηλαδή ένα «στιγμιότυπο» του κύματος.

δ. Πολύτιμο εργαλείο για να διδαχτούν οι έννοιες αυτής της ενότητας αποτελεί το ζεύγος ελατηρίων ΤΑ 020.0

Οι μαθητές αντιλαμβάνονται πιο εύκολα τη διάδοση ενός κυματικού παλμού παρά τη διάδοση ενός αρμονικού κύματος. Μπορούμε να προκαλέσουμε ένα κυματικό παλμό μετακινώντας το ελεύθερο άκρο του ελατηρίου, είτε κατά τη διεύθυνση του άξονά του είτε κάθετα σε αυτόν.

Αν ταλαντώνουμε περιοδικά το ελεύθερο άκρο του ελατηρίου μπορούμε να παρακολουθήσουμε το στιγμιότυπο του κύματος που διαδίδεται και να δείξουμε το μήκος κύματος και το πλάτος του κύματος. Διατηρώντας σταθερό το μήκος του ελατηρίου προκαλούμε ταλάντωση του ελεύθερου άκρου με συχνότητα που συνεχώς αυξάνεται και παρακολουθούμε την αντίστοιχη ελάττωση του μήκους κύματος

Τέλος, επιμηκύνουμε το ελατήριο, οπότε παρατηρούμε μεταβολή της ταχύτητας διάδοσης των κυμάτων.

Το πείραμα θα μας επιτρέψει να επισημάνουμε στους μαθητές ότι:

- i. Κατά τη διάδοση του κύματος δε μεταφέρεται ύλη αλλά ενέργεια.
- ii. Η ταχύτητα με την οποία διαδίδεται το κύμα δε συμπίπτει με την ταχύτητα με την οποία κινούνται τα μόρια του μέσου – στην περίπτωση μας της ταχύτητας με την οποία κινείται το χέρι μας.

ε. Στην ενότητα αυτή αντιστοιχούν οι διαφάνειες:

Γ-2.1 Διαδοχικά στιγμιότυπα ενός κύματος- Η κίνηση ενός σημείου του μέσου στο οποίο διαδίδεται το κύμα.

Γ-2.2α,β,γ Στιγμιότυπο αρμονικού κύματος. Στο διάγραμμα φαίνεται το μήκος κύματος.

Γ-2.3 Ένα στιγμιότυπο του κύματος και το διάγραμμα της απομάκρυνσης ενός σημείου του μέσου διάδοσης σε συνάρτηση με το χρόνο.

Ενότητα 2:

Επαλληλία κυμάτων- Συμβολή κυμάτων στην επιφάνεια των υγρών

α. Το ζεύγος των ελατηρίων TA 020.0, με τη βοήθεια των οποίων είναι δυνατή η επίδειξη των ιδιοτήτων των κυμάτων επιτρέπει την επιβεβαίωση της αρχής της επαλληλίας.

Τεντώνουμε το ελατήριο με τη μεγαλύτερη διάμετρο και ζητάμε από δυο μαθητές να προκαλέσουν ταυτόχρονα από ένα κυματικό παλμό τραβώντας το ελατήριο σε δυο σημεία του που βρίσκονται σε σχετικά μεγάλη απόσταση. Παρατηρούμε ότι οι δυο παλμοί διαδίδονται σε αντίθετες κατευθύνσεις, συναντώνται σε ένα σημείο και στη συνέχεια συνεχίζουν να διαδίδονται χωρίς ο ένας να επηρεάζει τον άλλο.

β. Είναι απαραίτητο να διευκρινιστεί στους μαθητές ότι οι εξισώσεις που περιέχονται στην ενότητα αυτή ισχύουν μόνο με την προϋπόθεση ότι οι ταλαντώσεις των μορίων του μέσου γίνονται στην ίδια διεύθυνση. Έτσι, λ.χ. δε μπορούμε να εφαρμόσουμε αυτές τις εξισώσεις για ηχητικά κύματα παρά μόνο στην περίπτωση που το σημείο στο οποίο συμβάλλουν βρίσκεται στην ευθεία που συνδέει τις πηγές.

Η μελέτη της συμβολής αναφέρεται στην περίπτωση κυμάτων που παράγονται στην επιφάνεια υγρού. Τα κύματα αυτά είναι κατά προσέγγιση εγκάρσια και τα μόρια του υγρού ταλαντώνονται στην ίδια διεύθυνση (κατακόρυφα).

Πρέπει επίσης να διευκρινιστεί ότι στις εξισώσεις $y_1 = A\eta\mu 2\pi[t/T - r_1/\lambda]$ και $y_2 = A\eta\mu 2\pi[t/T - r_2/\lambda]$ υποθέσαμε ότι τα κύματα έχουν το ίδιο πλάτος κάτι που, γενικά, δεν ισχύει.

γ. Η εικόνα των κροσσών συμβολής μπορεί να προβληθεί στην οθόνη αν χρησιμοποιήσουμε τη συσκευή κυματισμών WSP220 (TA 090.0). Αν δεν υπάρχει τέτοια συσκευή στο σχολείο μπορούμε να τοποθετήσουμε πάνω στον προβολέα overhead τη λεκάνη κυματισμών που περιγράφεται στον εργαστηριακό οδηγό. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να αφαιρεθεί η λάμπα που διαθέτει η διάταξη.

δ. Μετά τη διδασκαλία αυτής της ενότητας μπορεί να προγραμματιστεί το πείραμα « Συμβολή κυμάτων με τη λεκάνη κυματισμών».

Η αντίστοιχη άσκηση στον εργαστηριακό οδηγό περιλαμβάνει και τη μέτρηση του μήκους κύματος μονοχρωματικής ακτινοβολίας.

Μια διδακτική ώρα είναι αρκετή για την εκτέλεση της κάθε άσκησης ξεχωριστά, δεν επαρκεί όμως για την πραγματοποίηση και των δυο

πειραμάτων. Έτσι, προτείνεται να πραγματοποιηθούν τα δύο επιμέρους πειράματα ξεχωριστά.

Αν υιοθετηθεί η λύση αυτή, θα εξοικονομηθεί χρόνος για την παρατήρηση και άλλων κυματικών φαινομένων, όπως είναι η ανάκλαση, η διάθλαση και η περίθλαση των κυμάτων.

Η συσκευή κυματισμών που περιγράφεται στον εργαστηριακό οδηγό έχει το μειονέκτημα ότι η λεκάνη δεν έχει επίπεδο πυθμένα και γι αυτό η ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων δεν έχει παντού την ίδια τιμή. (Η ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων εξαρτάται από το βάθος του νερού).

Η παρατήρηση των κροσσών συμβολής γίνεται πάνω σε χαρτί που τοποθετείται κάτω από τη λεκάνη κυματισμών. Στη μέτρηση των αποστάσεων των σημείων που αντιστοιχούν στους κροσσούς συμβολής από τις πηγές υπεισέρχονται σφάλματα, δεδομένου ότι οι σφαίρες που χρησιμοποιούνται ως πηγές των κυμάτων δεν αποτελούν σημεία και ο προσδιορισμός του κέντρου τους πάνω στο χαρτί δεν είναι ευχερής.

Για να εκτιμηθεί το πραγματικό μήκος κύματος είναι αναγκαίο να μετρηθεί πάνω στο χαρτί το μήκος της σκιάς ενός αντικειμένου του οποίου είναι γνωστό το πραγματικό μήκος.

ε. Στην ενότητα αυτή αντιστοιχούν οι διαφάνειες

Γ-2.4, Γ-2.5 Επαλληλία δύο κυματικών παλμών.

Γ-2.6 Κροσσοί συμβολής στην επιφάνεια νερού.

Ενότητα 3:

Στάσιμα κύματα

α. Το «στάσιμο κύμα» δεν είναι κύμα αλλά μια ταλάντωση του ελαστικού μέσου. Τα σημεία του μέσου που βρίσκονται ανάμεσα σε δυο δεσμούς ταλαντώνονται με την ίδια φάση ενώ τα σημεία που βρίσκονται εκατέρωθεν των δεσμών έχουν αντίθετες φάσεις.

β. Στο σχήμα 2.15 της σελίδας 52 φαίνεται ένας κυματικός παλμός που διαδίδεται κατά μήκος τεντωμένου σχοινιού το άκρο του οποίου είναι ακλόνητα στερεωμένο. Όταν ο παλμός συναντήσει το σημείο στήριξης του σχοινιού ασκεί σε αυτό τη δύναμη F . Το σημείο στήριξης ασκεί στο σχοινί δύναμη $-F$. Η δύναμη αυτή κάνει τα μόρια του σχοινιού να ταλαντώνονται προς τα κάτω. Έτσι, ενώ η απομάκρυνση των μορίων του σχοινιού εξαιτίας του παλμού που προσπίπτει είναι θετική, η απομάκρυνση εξαιτίας του παλμού που ανακλάται είναι αρνητική.

Στην περίπτωση μιας κατακόρυφης χορδής της οποίας κρατάμε το άνω άκρο και της οποίας το κάτω άκρο είναι ελεύθερο, αν διεγερθεί για τη δημιουργία κύματος, στο ελεύθερο άκρο της δημιουργείται κοιλία. Το ίδιο συμβαίνει στο ανοιχτό άκρο ηχητικού σωλήνα αν ο αέρας που περιέχεται σ' αυτόν διεγερθεί και δημιουργηθεί στάσιμο κύμα.

γ. Τη δημιουργία στάσιμου εγκάρσιου κύματος μπορούμε να επιτύχουμε εύκολα με τη χρήση του ζεύγους ελατηρίων TA 020.0 :

Στερεώνουμε το ένα άκρο του ελατηρίου με τη μικρότερη διάμετρο, το τεντώνουμε και κουνάμε περιοδικά το ελεύθερο άκρο του σε διεύθυνση κάθετη στον άξονά του. Παρατηρούμε ότι για ορισμένη συχνότητα ταλάντωσης δημιουργείται εγκάρσιο στάσιμο κύμα, με εμφανή τα σημεία του ελατηρίου που αντιστοιχούν σε δεσμούς. Αν αυξήσουμε τη συχνότητα ταλάντωσης θα παρατηρήσουμε ότι η απόσταση μεταξύ των δεσμών του στάσιμου κύματος γίνεται μικρότερη.

Επειδή η συχνότητα με την οποία ταλαντώνεται το ελατήριο είναι μικρή βλέπουμε ξεχωριστά τα διαδοχικά στιγμιότυπα της ταλάντωσης του ελατηρίου και όχι ατράκτους, όπως θα συνέβαινε αν η περίοδος της ταλάντωσης ήταν μικρότερη από $1/16$ s.

Πρέπει να διευκρινιστεί ότι ο σχηματισμός στάσιμου κύματος στο ελατήριο (όπως και σε μια χορδή, σε μια ράβδο ή σε μια στήλη αέρα κ.λπ) είναι δυνατός μόνο για ορισμένες συχνότητες. Πρόκειται δηλαδή για φαινόμενο συντονισμού.

Σημείωση: Το ελατήριο αυτό έχει σημαντικό βάρος και επομένως η ταλάντωσή του πρέπει να γίνει στο δάπεδο.

δ. Με το δεύτερο από τα ελατήρια TA 020.0 μπορούμε να δείξουμε ένα στάσιμο διάμηκες κύμα.

Στερεώνουμε το ένα άκρο του, το τεντώνουμε και κουνάμε περιοδικά το ελεύθερο άκρο του κατά τη διεύθυνση του άξονά του. Για ορισμένη συχνότητα της ταλάντωσης δημιουργείται στάσιμο διάμηκες κύμα με εμφανή τα σημεία που αντιστοιχούν σε δεσμούς (ακίνητες σπείρες).

ε. Στάσιμα κύματα μπορούμε να επιδείξουμε και με τις συσκευές TA 030.0 (εγκάρσια στάσιμα κύματα σε ατσάλινη βέργα) και TA 035.0 (διαμήκη στάσιμα κύματα σε ελατήριο). Στις συσκευές αυτές το ελατήριο ή η ατσάλινη ράβδος ταλαντώνονται με συχνότητα 100 Hz (διπλάσια από τη συχνότητα της εναλλασσόμενης τάσης που τροφοδοτεί το πηνίο στο οποίο προσαρμόζεται το σύστημα). Εάν το στάσιμο κύμα δε σχηματίζεται κανονικά ρυθμίζουμε το μήκος της ράβδου ή του μεταλλικού ελάσματος της συσκευής).

Στην περίπτωση της ράβδου, όταν σχηματιστεί στάσιμο κύμα, το ελεύθερο άκρο της αντιστοιχεί σε κοιλία κίνησης, επομένως το μήκος της ράβδου και το μήκος κύματος θα συνδέονται με τη σχέση $l = (2n+1)\lambda/4$, όπου n ο αριθμός των ατράκτων που σχηματίζονται.

στ. Μετά την ολοκλήρωση αυτής της ενότητας είναι σκόπιμο να πραγματοποιηθεί η εργαστηριακή άσκηση «Μελέτη στάσιμων ηχητικών κυμάτων σε σωλήνα και προσδιορισμός της ταχύτητας του ήχου στον αέρα».

Η μέθοδος που περιγράφεται στον εργαστηριακό οδηγό στηρίζεται στη μέτρηση του ύψους για το οποίο παρατηρείται συντονισμός του αέρα που περιέχει ο σωλήνας. Η αυξομείωση του ύψους της αέριας στήλης επιτυγχάνεται είτε με τη μετακίνηση ενός δοχείου που συγκοινωνεί με το γυάλινο σωλήνα είτε με την κατακόρυφη μετατόπιση του σωλήνα, βυθισμένου κατά ένα μέρος του στο νερό. Ως διεγέρτης χρησιμοποιείται ένα διαπασών γνωστής συχνότητας. Μια παραλλαγή της μεθόδου θα ήταν να διατηρούμε σταθερό το ύψος της αέριας στήλης αλλά να μεταβάλλουμε τη συχνότητα του διεγέρτη. Στην περίπτωση αυτή ως διεγέρτης θα μπορούσε να χρησιμεύσει ένα ακουστικό-ψείρα (από αυτά που χρησιμοποιούμε στα walkman) που τροφοδοτείται από γεννήτρια ακουστών συχνοτήτων.

Η άσκηση αυτή προσφέρεται για να τονιστούν τα σφάλματα που παρατηρούνται σε μια μέτρηση- εδώ το σφάλμα στη μέτρηση του μήκους αλλά και στον ακριβή καθορισμό της θέσης της στάθμης του υγρού για το οποίο επιτυγχάνεται συντονισμός.

Η ταχύτητα του ήχου μετρήθηκε με τη μέθοδο που περιγράφεται και βρέθηκε (στους 0°C) πολύ κοντά στα 350m/s, τιμή που κρίνεται αποδεκτή.

Στο «ελέγξτε τις γνώσεις σας» ερωτούνται οι μαθητές πώς καταλαβαίνουν αν ο ήχος που ακούμε προέρχεται από τον αέρα που περιέχει ο σωλήνας ή από τον ίδιο το σωλήνα. Η ερώτηση δόθηκε για να ελέγξουμε αν οι μαθητές έχουν κατανοήσει ότι οι ηχητικές πηγές πάλλονται και, επομένως, αν εμποδίσουμε την παλμική τους κίνηση παύουν να παράγουν ήχο.

ζ. Στην ενότητα αυτή αντιστοιχούν οι διαφάνειες

Γ-2.7 Στιγμιότυπα στάσιμου κύματος σε χορδή.

Γ-2.8 Στάσιμα κύματα σε σκοινί (φωτογραφίες)

Γ-2.9 Στάσιμα κύματα σε χορδή (φωτογραφίες)

Γ-2.10 Στάσιμο κύμα σε στήλη αέρα. Η κίνηση των μορίων του αέρα.

Ενότητα 4:

Παραγωγή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

Η μετάδοση και λήψη σημάτων με ηλεκτρομαγνητικά κύματα

Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

α. Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα που παράγεται από ταλαντούμενο ηλεκτρικό δίπολο είναι πολωμένο, το διάνυσμα της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, δηλαδή, έχει ορισμένη διεύθυνση.

β. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργεί ένα σύστημα ακίνητων ηλεκτρικών φορτίων $\pm q$ (ηλεκτρικό δίπολο) μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με τον κύβο της απόστασης από το δίπολο. Δε συμβαίνει το ίδιο και με το ηλεκτρομαγνητικό κύμα που παράγει ένα ταλαντούμενο δίπολο. Η διάδοση του κύματος σε μεγάλες αποστάσεις οφείλεται στη συνεχή παραγωγή, λόγω επαγωγής, ηλεκτρικού πεδίου από χρονικά μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο και, αντίστροφα, μαγνητικού πεδίου από το χρονικά μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο. Όπως προκύπτει από τις εξισώσεις του Maxwell, τα πεδία αυτά είναι συμφασικά.

Ενώ κοντά στο δίπολο που τα παράγει το ηλεκτρικό και ο μαγνητικό πεδίο που συναπαρτίζουν το ηλεκτρομαγνητικό κύμα έχουν διαφορά φάσης $\pi/2$ σε μεγάλη απόσταση από αυτό είναι συμφασικά.

γ. Στην ενότητα αυτή αντιστοιχούν οι διαφάνειες

- Γ-2.11 Δημιουργία ηλεκτρομαγνητικού κύματος από κεραία- Στιγμιότυπο αρμονικού ηλεκτρομαγνητικού κύματος.
- Γ-2.12 Διαμόρφωση του πλάτους του φέροντος κύματος (AM).
- Γ-2.13 Διαμόρφωση της συχνότητας του φέροντος κύματος (FM).
- Γ-2.14 Μοντέλο λήψης ραδιοφωνικού σήματος - Η αποδιαμόρφωση του κύματος.
- Γ-2.15 Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Ενότητα 5:

Ανάκλαση και διάθλαση - Ολική εσωτερική ανάκλαση **Διασκεδασμός του φωτός**

α. Η αναφορά στα φαινόμενα της ανάκλασης και της διάθλασης έχει περιοριστεί στο φως. Τα αντίστοιχα φαινόμενα συμβαίνουν σε όλα τα κύματα. Η συσκευή κυματισμών και το ζεύγος ελατηρίων ΤΑ 020 προσφέρονται για τη μελέτη των αντίστοιχων φαινομένων στα μηχανικά κύματα.

β. Καλό είναι να τονιστεί ότι κατά τη μετάβαση του κύματος από ένα μέσο σε άλλο μεταβάλλεται η ταχύτητα διάδοσης του κύματος και όχι η συχνότητά του και, επομένως, ότι μεταβάλλεται το μήκος κύματος.

γ. Όταν το κύμα συναντάει τη διαχωριστική επιφάνεια δυο μέσων στα οποία διαδίδεται με διαφορετική ταχύτητα, ένα μέρος του ανακλάται (επιστρέφει στο πρώτο μέσον) και ένα μέρος του διαθλάται (διαδίδεται στο δεύτερο μέσο). Αυτό, για την περίπτωση των μηχανικών κυμάτων, μπορούμε να το δείξουμε αν συνδέσουμε σε σειρά τα δύο ελατήρια της σειράς ΤΑ 020.0. Αν δημιουργήσουμε ένα εγκάρσιο παλμό στο ένα από τα δύο ελατήρια, ο παλμός οδεύει προς το κοινό τους άκρο. Στη συνέχεια παρακολουθούμε τους δυο παλμούς, αυτόν που ανακλάται στο κοινό άκρο και αυτόν που περνάει στο δεύτερο ελατήριο.

Είναι ενδιαφέρον ότι ο ανακλώμενος παλμός, όταν δημιουργείται στο πιο μαλακό από τα δυο ελατήρια επιστρέφει στο πρώτο μέσο αλλάζοντας φάση, ενώ όταν δημιουργείται στο σκληρότερο από τα δύο ελατήρια ανακλάται με την ίδια φάση.

δ. Με τη βοήθεια ενός Laser μπορούμε να δείξουμε εύκολα το φαινόμενο της ανάκλασης.

Αν η φωτεινή δέσμη που προέρχεται από το laser πέσει σε ένα φύλλο αλουμινίου, θα υποστεί κατοπτρική ανάκλαση. Αντίθετα, αν πέσει σε ένα φύλλο

αλουμινίου το οποίο φροντίσαμε προηγουμένως να τσαλακώσουμε ώστε η επιφάνειά του να παρουσιάζει ανωμαλίες θα υποστεί διάχυση.

Σημείωση: Την πορεία της δέσμης μπορούμε να την παρακολουθήσουμε στη σκόνη κιμωλίας που παίρνουμε αν τινάξουμε ένα σφουγγάρι πάνω από το χώρο στον οποίο πραγματοποιείται το πείραμα.

ε. Με τη βοήθεια ενός φακού laser μπορούμε επίσης να δείξουμε το φαινόμενο της διάθλασης και να μετρήσουμε το δείκτη διάθλασης του νερού.

Για την εκτέλεση του πειράματος απαιτούνται ένας φακός laser, ένα γυάλινο ορθογώνιο δοχείο, δυο υποδεκάμετρα 30 cm, ορθοστάτης, λαβίδα, διαφανής κολλητική ταινία και νερό.

Σημειώνουμε τη θέση της φωτεινής κηλίδας όταν το δοχείο δεν έχει νερό και τη θέση της όταν στο δοχείο έχει προστεθεί νερό.

Σχεδιάζουμε στο τετράδιο, υπό κλίμακα, την πορεία που ακολούθησε η φωτεινή δέσμη πριν και μετά την προσθήκη του νερού και μετράμε με το μοιρογνωμόνιο τις γωνίες θ_a και θ_b . Από το λόγο $\eta\mu\theta_a / \eta\mu\theta_b$ προσδιορίζουμε το δείκτη διάθλασης του νερού.

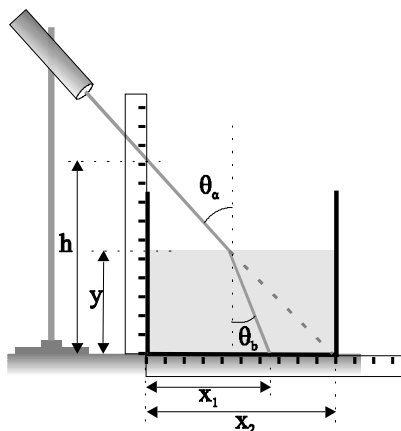
Σημείωση: Η μέτρηση θα ήταν ακριβέστερη αν επαναλαμβανόταν για διαφορετικές τιμές του ύψους της υδάτινης στήλης, όμως ο χρόνος που διατίθεται για τη διδασκαλία δεν επιτρέπει λεπτομερέστερη διερεύνηση.

στ. Η δραστηριότητα με αριθμό 2 προσφέρεται για να παρατηρήσουν οι μαθητές το φαινόμενο του διασκεδασμού του λευκού φωτός.

ζ. Μετά την ολοκλήρωση της ενότητας αυτής οι μαθητές πρέπει να πραγματοποιήσουν την εργαστηριακή άσκηση «μέτρηση του μήκους κύματος μονοχρωματικής ακτινοβολίας»

Η μέθοδος που προτείνεται είναι στην ουσία η επανάληψη του πειράματος Young, βασίζεται δηλαδή στο φαινόμενο της περίθλασης, το οποίο όμως δεν έχουν διδαχτεί οι μαθητές. Αυτό καθιστά αναγκαία τη θεωρητική ανάλυση του φαινομένου.

Η τιμή που προέκυψε για το μήκος κύματος της ερυθρής ακτινοβολίας ήταν 650nm, που συμφωνεί με τη βιβλιογραφία η οποία για το ερυθρό φως δίνει μήκη κύματος μεταξύ 630 nm και 700nm.



Οι απαντήσεις στα ερωτήματα της ενότητας «ελέγξτε τις γνώσεις σας»:

1. Αν κοιτάξουμε με ένα οπτικό φράγμα μια πηγή μονοχρωματικού φωτός θα παρατηρούσαμε εναλλάξ φωτεινές και σκοτεινές περιοχές. Η απόσταση του πρώτου φωτεινού κροσσού από τον κεντρικό κροσσό είναι συνάρτηση του μήκους κύματος. Αν η πηγή δίνει λευκό φως αντί μιας φωτεινής γραμμής βλέπουμε έγχρωμες περιοχές (φάσμα περίθλασης). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι φωτεινοί κροσσοί της ίδιας τάξης που αντιστοιχούν στα διάφορα μήκη κύματος σχηματίζονται σε διαφορετικές αποστάσεις από τον κεντρικό κροσσό.
2. Η απόσταση του πρώτου φωτεινού κροσσού από τον κεντρικό φωτεινό κροσσό εξαρτάται από τον αριθμό των σχισμών ανά mm. Στο φράγμα με το μεγαλύτερο αριθμό σχισμών αντιστοιχεί μεγαλύτερη απόσταση ανάμεσα στους φωτεινούς κροσσούς.
3. Τα σταγονίδια της ομίχλης έχουν διαστάσεις συγκρίσιμες με το μήκος κύματος του φωτός, με αποτέλεσμα το φως να υφίσταται έντονη περίθλαση.

η. Στην ενότητα αυτή αντιστοιχούν οι διαφάνειες

Γ-2.16 Ανάκλαση και διάθλαση δέσμης φωτός.

Γ-2.17 Ολική ανάκλαση δέσμης φωτός.

Γ-2.18 Ο δείκτη διάθλασης ορισμένων υλικών σε συνάρτηση μήκους κύματος του φωτός.

Γ-2.19αβ Εκτροπή δέσμης μονοχρωματικού φωτός από πρίσμα - Ανάλυση δέσμης λευκού φωτός από πρίσμα.

Γ-2.20α,β Πώς σχηματίζεται το ουράνιο τόξο. (α) Απλό (β) Ανεστραμμένο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΡΕΥΣΤΑ ΣΕ ΚΙΝΗΣΗ

Στόχοι:

Σύμφωνα με το Πρόγραμμα Σπουδών, με τη διδασκαλία αυτής της ενότητας ο μαθητής πρέπει να μπορεί:

- Να διακρίνει τα συμπίεστα από τα ασυμπίεστα ρευστά.
- Να διατυπώνει με λόγια και με τύπους την εξίσωση της συνέχειας και το νόμο του Bernoulli και να τους χρησιμοποιεί στη λύση φυσικών προβλημάτων.

Ειδικότερα, κατά τη δική μας γνώμη, μετά τη διδασκαλία αυτού του κεφαλαίου ο μαθητής πρέπει:

- Να ανακαλέσει στη μνήμη τους την έννοια της υδροστατικής πίεσης και να γνωρίζει τις προϋποθέσεις υπό τις οποίες ισορροπεί ένα ρευστό.
- Να κατανοήσει ότι η εξίσωση της συνέχειας αποτελεί συνέπεια της αρχής διατήρησης της μάζας και ότι η εξίσωση του Bernoulli αποτελεί συνέπεια της αρχής διατήρησης της ενέργειας
- Να κατανοήσει ότι μεταξύ των μορίων των ρευστών αναπτύσσονται δυνάμεις που τείνουν να εμποδίσουν την κίνηση ενός τμήματός του σε σχέση με το υπόλοιπο υγρό.

Πίνακας προτεινόμενων ασκήσεων - προβλημάτων

Ενότητα	Προτεινόμενες ασκήσεις	Προτεινόμενα προβλήματα
1. Υγρά σε ισορροπία	3.18	3.24
2. Υγρά σε κίνηση Ο νόμος της συνέχειας	3.20	3.26 3.27
3. Η εξίσωση του Bernoulli	3.21, 3.22	3.28
4. Η τριβή στα ρευστά		3.29

Ενότητα 1

Υγρά σε ισορροπία

α. Η χρονική απόσταση από την πρώτη επαφή των μαθητών με την ισορροπία των υγρών καθιστά αναγκαία τη διδασκαλία της ενότητας αυτής, έστω κι αν τυπικά το περιεχόμενό της δεν αποτελεί μέρος του προγράμματος αυτής της τάξης.

β. Είναι ενδιαφέρον να ερωτηθούν οι μαθητές αν το υγρό ασκεί υδροστατική πίεση όταν βρίσκεται εκτός πεδίου βαρύτητας.

γ. Μπορεί να προβληθεί η διαφάνεια Γ-3.1 στην οποία φαίνεται ένα φράγμα και να γίνει συζήτηση για τους λόγους που επιβάλλουν το συγκεκριμένο σχήμα του.

δ. Σε συνθήκες ισορροπίας ενός ρευστού η ολική πίεση στα σημεία που βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο έχει την ίδια τιμή, οποιοδήποτε κι αν είναι το σχήμα του δοχείου.

Τα συκοινωνούντα δοχεία (MP 025.0) που υπάρχουν στο σχολικό εργαστήριο μπορούν να βοηθήσουν στην κατανόηση αυτής της συνθήκης .

ε. Καλό είναι να διευκρινιστεί ότι η πίεση των αερίων που βρίσκονται σε δοχεία οφείλεται στη θερμική κίνηση των μορίων τους. Όταν όμως το ύψος του δοχείου που τα περιέχει είναι πολύ μεγάλο - όπως συμβαίνει με τον ατμοσφαιρικό αέρα- η πίεση που οφείλεται στο βάρος των υπερκείμενων στρωμάτων του δεν είναι ευκαταφρόνητη.

στ. Έχει ενδιαφέρον να ζητηθεί από τους μαθητές να υπολογίσουν τη δύναμη που δέχεται η επιφάνεια ενός βιβλίου εξαιτίας της ατμοσφαιρικής πίεσης.

ζ. Στην ενότητα αυτή αντιστοιχούν οι διαφάνειες
Γ-3.1 Τομή ενός φράγματος.
Γ-3.2α,β Για την κατανόηση της αρχής του Pascal.

Ενότητα 2

Ρευστά σε κίνηση - Ο νόμος της συνέχειας

α. Είναι αναγκαίο να προσδιοριστεί με ποιες προϋποθέσεις ένα υγρό θεωρείται ιδανικό και να τονιστούν οι διαφορές των πραγματικών ρευστών από αυτά που χαρακτηρίζουμε ως ιδανικά.

β. Στα πραγματικά ρευστά, υπάρχει μια κρίσιμη τιμή ταχύτητας - που εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του υγρού και του σωλήνα - πέρα από την οποία η ροή γίνεται τυρβώδης.

γ. Ο όρος «σωλήνας», στη φυσική, έχει περιεχόμενο ευρύτερο από αυτό που έχει στην καθημερινή μας ζωή, δεν προϋποθέτει την ύπαρξη σταθερών τοιχωμάτων μέσα από τα οποία ρέει το ρευστό.

δ. Οι μαθητές γνωρίζουν, από την εμπειρία τους, ότι η φλέβα του νερού μιας βρύσης στενεύει καθώς πέφτει. Το παράδειγμα αυτό θα ήταν μια πολύ καλή εισαγωγή στην ενότητα αυτή.

ε. Ο νόμος της συνέχειας ισχύει μόνο στα ασυμπίεστα ρευστά. Ο αντίστοιχος νόμος στα αέρια αφορά στη σταθερότητα της μάζας που διέρχεται από μια διατομή του σωλήνα και διατυπώνεται με τη μορφή: $\rho v = \text{σταθ}$

στ. Ότι η ταχύτητα των ρευστών είναι μεγαλύτερη στα σημεία στα οποία στενεύει ο σωλήνας μπορούμε να το παρακολουθήσουμε στο εργαστήριο αν χρησιμοποιήσουμε σωλήνες διαφορετικής διατομής. Αν ρίξουμε μικρή ποσότητα υπερμαγγανικού καλίου μπορούμε να παρακολουθήσουμε την ταχύτητα με την οποία ρέει το διάλυμα. Φαίνεται τότε ότι η ταχύτητα ροής είναι μεγαλύτερη όταν το νερό περνάει από το στενό μέρος του σωλήνα.

ζ. Στην ενότητα αυτή αντιστοιχεί η διαφάνεια Γ-3.3 Νερό που εκτελεί τυρβώδη ροή. Οι στρόβιλοι που σχηματίζονται φαίνονται έγχρωμοι.

Η εξίσωση του Bernoulli

α. Η διδασκαλία της ενότητας μπορεί να ξεκινήσει με τις δραστηριότητες 1 και 2 της σελίδας 101.

β. Η εξίσωση του Bernoulli ισχύει πλήρως στην περίπτωση των ασυμπίεστων ρευστών. Στην περίπτωση των αερίων η εξίσωση πρέπει να τροποποιηθεί ώστε να συμπεριλάβει και τις μεταβολές της κατάστασης του αερίου.

Ωστόσο, με την προϋπόθεση ότι δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές της πυκνότητας, μπορούμε, τουλάχιστον ποιοτικά, να εφαρμόσουμε το νόμο και στην περίπτωση των αερίων.

γ. Η ταχύτητα που αναφέρεται στο νόμο του Bernoulli είναι η σχετική ταχύτητα του ρευστού ως προς ένα σώμα. Έτσι, στην εφαρμογή 3.3, θεωρούμε ότι το αεροπλάνο κινείται με ταχύτητα u σε ακίνητο αέρα. Αυτό είναι ισοδύναμο με την περίπτωση που το αεροπλάνο είναι ακίνητο και ο άνεμος πνέει με ταχύτητα αντίθετη με την ταχύτητα του αεροπλάνου.

δ. Το παράδειγμα 3.3 (ροόμετρο του Ventouri) και η εφαρμογή 3.2 (Θεώρημα του Torricelli) μπορούν να δοθούν ως ασκήσεις εφαρμογής του νόμου του Bernoulli. Πάντως στις διάφορες εφαρμογές, το θεώρημα του Torricelli θα εφαρμόζεται χωρίς απόδειξη.

ε. Η ομώνυμη συσκευή, την οποία διαθέτουν τα σχολικά εργαστήρια, προσφέρεται για την επίδειξη του νόμου του Bernoulli.

στ. Δυο εύκολα πειράματα με τα οποία μπορούμε να δείξουμε ότι στα σημεία που η ταχύτητα του ρευστού μεγαλώνει η πίεση έχει μικρότερη τιμή είναι τα εξής:

i. Βάζουμε ένα μπαλάκι του πινγκ πονγκ μέσα σε ένα χωνί, κοντά στο στόμιό του. Όταν φυσήξουμε από τη στενή πλευρά του χωνιού θα διαπιστώσουμε ότι το μπαλάκι, αντίθετα με ό,τι θα περίμενε κανείς, κολλάει στο στόμιο του χωνιού.

ii. Κρατάμε κατακόρυφα ένα στεγνωτήρα μαλλιών, ώστε το ρεύμα του αέρα που δημιουργεί να κατευθύνεται προς τα επάνω. Αφήνουμε ένα μπαλάκι του πινγκ πονγκ να ισορροπήσει στο ρεύμα του αέρα. Αν επιχειρήσουμε, με μικρές οριζόντιες ωθήσεις να το απομακρύνουμε, το

μπαλάκι επιστρέφει στην αρχική του θέση. Για να επιτύχει το πείραμα πρέπει ο στεγνωτήρας να έχει μεγάλη ισχύ.

ζ. Στην ενότητα αυτή αντιστοιχούν οι διαφάνειες

Γ-3.4 Τομή μιας ρευματικής φλέβας (για την απόδειξη του νόμου του Bernoulli).

Γ-3.5 Το ροόμετρο του Ventouri (αρχή λειτουργίας)

Γ-3.6 Πειραματική διάταξη για την επίδειξη του νόμου του Bernoulli.

Γ-3.7 Εφαρμογή στο νόμο του Bernoulli. Ο δυνατός άνεμος τείνει να ανυψώσει τη στέγη ενός σπιτιού.

Γ-3.8 Τομή πτέρυγας αεροπλάνου (για την ερμηνεία της δυναμικής άνωσης). αεροπλάνων.

Ενότητα 4

Η τριβή στα ρευστά

α. Στην ενότητα αυτή επιχειρείται μια σύντομη εισαγωγή της έννοιας «ιξώδες» των ρευστών.

β. Μπορούμε να δείξουμε στους μαθητές ότι τα διάφορα υγρά έχουν διαφορετικό ιξώδες με βάση το οποίο διακρίνονται σε παχύρρευστα και λεπτόρρευστα. Αυτό μπορεί να γίνει με τη σύγκριση των χρόνων που απαιτούνται για να αδειάσουμε δυο όμοια δοχεία που περιέχουν ίδιους όγκους διαφορετικών υγρών.

γ. Ένα μέγεθος που καθορίζεται από το ιξώδες είναι η οριακή ταχύτητα που αποκτάει μια σφαίρα που κινείται μέσα στο ρευστό. Η μέτρηση της οριακής ταχύτητας επιτρέπει τη μέτρηση του ιξώδους του ρευστού.

δ. Στην ενότητα αυτή αντιστοιχούν οι διαφάνειες:

Γ-3.9 Οι ταχύτητες των μορίων υγρού που βρίσκεται ανάμεσα σε δύο γυάλινες πλάκες από τις οποίες η μία είναι ακίνητη ενώ η άλλη κινείται με ταχύτητα u .

Γ-3.10 Οι ταχύτητες διαφόρων σημείων ενός ρευστού που κινείται μέσα σε κυλινδρικό σωλήνα ακτίνας R .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΟΥ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ

Στόχοι:

Σύμφωνα με το πρόγραμμα σπουδών, με τη διδασκαλία του κεφαλαίου αυτού ο μαθητής πρέπει να μπορεί:

- Να περιγράφει την περιστροφή στερεού σώματος ως προς άξονα
- Να υπολογίζει τη ροπή αδράνειας συμμετρικού σώματος ως προς διάφορους άξονες
- Να διακρίνει την ύπαρξη του διανυσματικού μεγέθους «στροφορμή», η οποία διατηρείται, και να το χρησιμοποιεί στη λύση φυσικών προβλημάτων
- Να διατυπώνει το έργο ροπής και τη μηχανική ενέργεια περιστρεφόμενου στερεού και να τα χρησιμοποιεί στην περιγραφή φυσικών φαινομένων.

Ειδικότερα, κατά τη δική μας γνώμη, μετά τη διδασκαλία αυτού του κεφαλαίου ο μαθητής πρέπει:

- Να διακρίνει την περιστροφική από τη μεταφορική κίνηση στερεού σώματος.
- Να κατανοήσει ότι η στροφική κίνηση ενός στερεού περιγράφεται με νόμους αντίστοιχους με αυτούς που περιγράφουν τη μεταφορική κίνηση.
- Να κατανοήσει τη σημασία των εννοιών «ροπή δύναμης» και «στροφορμή».
- Να είναι σε θέση να γράφει τις σχέσεις ισορροπίας ενός στερεού και να τις χρησιμοποιεί στη λύση φυσικών προβλημάτων.
- Να κατανοήσει ότι τα σώματα παρουσιάζουν αδράνεια στη στροφική κίνηση και να γνωρίζει το μέγεθος που μετράει αυτή την αδράνεια.
- Να κατανοήσει ότι ένα στερεό που περιστρέφεται έχει κινητική ενέργεια.
- Να κατανοήσει την έννοια του «κέντρου μάζας» των στερεών σωμάτων.

Πίνακας προτεινόμενων ασκήσεων - προβλημάτων

Ενότητα	Προτεινόμενες ασκήσεις	Προτεινόμενα προβλήματα
1. Οι κινήσεις των στερεών σωμάτων	4.32, 4.35	4.57 4.60 4.63 4.64 4.66 4.67 4.71
2. Ροπή δύναμης	4.39	
3. Ισορροπία στερεού σώματος	4.43	
4. Η ροπή αδράνειας	4.44	
5. Ο θεμελιώδης νόμος της στροφικής κίνησης.	4.45, 4.36	
6. Η στροφορμή Διατήρηση της στροφορμής.	4.49	
7. Κινητική ενέργεια λόγω περιστροφής. Έργο κατά τη στροφική κίνηση	4.51, 4.54	

Ενότητα 1

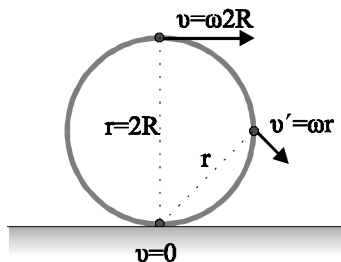
Οι κινήσεις των στερεών σωμάτων

- α.** Θα πρέπει να επιδιώξουμε οι μαθητές να κατανοήσουν ότι:
- η μεταφορική κίνηση δεν είναι κατ' ανάγκη ευθύγραμμη.
 - η στροφική κίνηση ενός στερεού δεν είναι κυκλική κίνηση, όπως συχνά νομίζουν οι μαθητές.
 - όλα τα σημεία ενός στρεφόμενου σώματος έχουν την ίδια γωνιακή ταχύτητα
 - στη μεταφορική κίνηση όλα τα σημεία του στερεού έχουν την ίδια ταχύτητα.

β. Η χρήση δυο περίπου ίδιων συμβόλων για τα μεγέθη γωνιακή επιτάχυνση (α) και γραμμική επιτάχυνση (a) είναι δυνατό να δημιουργήσει δυσκολία στους μαθητές, ειδικά αν τα δύο μεγέθη συνυπάρχουν στο ίδιο πρόβλημα.

Στις περισσότερες εφαρμογές αναφερόμαστε στην επιτάχυνση του κέντρου μάζας του στερεού, για την οποία χρησιμοποιήσαμε το σύμβολο a_{cm} . Με την καθιέρωση αυτού του συμβολισμού το πρόβλημα αμβλύνεται.

γ. Η περίπτωση του τροχού που κάνει σύνθετη κίνηση μπορεί να αντιμετωπιστεί και ως πρόβλημα στροφικής κίνησης περί στιγμιαίο άξονα που συμπίπτει με την ευθεία που ενώνει τα σημεία επαφής του τροχού με το επίπεδο, με γωνιακή ταχύτητα $\omega = v/R$. Η γραμμική ταχύτητα των σημείων της περιφέρειας του τροχού θα είναι τότε $v = \omega r$, όπου το r είναι η απόσταση του σημείου από το στιγμιαίο άξονα περιστροφής.



δ. Κατά την κύλιση ενός τροχού, χωρίς ταυτόχρονη ολίσθηση, η ταχύτητα μεταφοράς του (ταχύτητα του κέντρου μάζας του) είναι ίδια με τη γραμμική ταχύτητα που έχουν τα σημεία της περιφέρειάς του λόγω της στροφικής κίνησης. Αντίστοιχα, η επιτάχυνση του κέντρου μάζας είναι ίση με τη γραμμική επιτάχυνση των σημείων της περιφέρειάς του, ισχύει δηλαδή $a_{cm} = \alpha R$. Οι προτάσεις αυτές αποτελούν κλειδί για τη λύση μεγάλου αριθμού προβλημάτων.

ε. Στην ενότητα αυτή αντιστοιχούν οι διαφάνειες

Γ- 4.1 Η μεταφορική κίνηση ενός κανατιού.

Γ- 4.2 Ο τροχός του λούνα παρκ.

Γ- 4.3 Ένα κλειδί που κάνει σύνθετη κίνηση, πάνω σε οριζόντιο τραπέζι. Στη φωτογραφία φαίνεται η τροχιά του κέντρου μάζας του κλειδιού

Γ- 4.4 Η σύνθετη κίνηση που κάνει ένα μπαστούνι που το πετάξαμε υπό γωνία. Φαίνεται η (παραβολική) τροχιά του κέντρου μάζας του.

Γ- 4.5 Η τροχιά ενός σημείου στην περιφέρεια τροχού που κυλιέται.

Γ- 4.6 Οι ταχύτητες διαφόρων σημείων ενός τροχού που κυλιέται, ως αποτέλεσμα της επαλληλίας των επιμέρους κινήσεων που εκτελεί ο τροχός.

Ενότητα 2:

Ροπή δύναμης

α. Με το γινόμενο των διανυσμάτων \mathbf{F} και \mathbf{l} ορίστηκαν τα μεγέθη έργο (που είναι μονόμετρο μέγεθος) και ροπή, που είναι διανυσματικό μέγεθος. Έτσι, το έργο εκφράστηκε μαθηματικά ως το εσωτερικό γινόμενο των διανυσμάτων) και η ροπή ως το εξωτερικό τους γινόμενο. Οι μαθητές μπορούν να αναζητήσουν περισσότερες πληροφορίες για το εξωτερικό γινόμενο δυο διανυσμάτων στο ένθετο της σελίδας 146 .

β. Στην ενότητα αυτή αντιστοιχούν οι διαφάνειες

Γ- 4.7 Ένα γαλλικό κλειδί σε χρήση. Ο τεχνίτης, για να επιτύχει καλύτερο αποτέλεσμα κρατάει το κλειδί από την άκρη του.

Γ- 4.8α,β Για τον ορισμό της ροπής μιας δύναμης ως προς άξονα.

Γ- 4.9 Ροπή δύναμης ως προς σημείο.

Ενότητα 3

Ισορροπία στερεού σώματος

α. Όταν ικανοποιούνται οι συνθήκες $\Sigma \mathbf{F}=0$ και $\Sigma \tau=0$ η επιτάχυνση του σώματος, τόσο στη μεταφορική όσο και στη στροφική κίνηση είναι ίση με μηδέν. Επομένως, οι συνθήκες αυτές αποτελούν συνθήκες ισορροπίας του σώματος αν αυτό έχει αρχικά $v=0$ και $\omega=0$.

β. Στην περίπτωση στερεού σώματος που ισορροπεί με την επίδραση τριών δυνάμεων, οι φορείς των τριών δυνάμεων περνάνε από το ίδιο σημείο.

Η πρόταση αυτή, που αποδεικνύεται εύκολα με τη μέθοδο της εις άτοπον απαγωγής (αν η τρίτη από τις δυνάμεις δεν περνούσε από το σημείο τομής των άλλων δύο, θα είχε ως προς το σημείο εκείνο ροπή διάφορη του μηδενός και επομένως το σώμα δε θα ισορροπούσε) μπορεί να απλοποιήσει τη λύση αρκετών προβλημάτων που αναφέρονται στην ισορροπία των στερεών σωμάτων.

γ. Αν και στην περίπτωση σώματος που έχει σταθερό άξονα περιστροφής αρκεί η συνθήκη $\Sigma \tau=0$ για να ισορροπεί, είναι χρήσιμο και στην περίπτωση αυτή να γράφεται και η συνθήκη $\Sigma \mathbf{F}=0$, που επιτρέπει τον υπολογισμό της δύναμης που δέχεται το σώμα από τον άξονα.

Ενότητα 4

Η ροπή αδράνειας

α. Η ροπή αδράνειας ενός σώματος έχει τόσες τιμές όσοι είναι και οι άξονες περιστροφής του. Οι πίνακες δίνουν συνήθως τη ροπή αδράνειας ως προς άξονα που διέρχεται από το κέντρο μάζας του στερεού. Οι μαθητές πρέπει να καταστούν ικανοί να εφαρμόζουν το θεώρημα Steiner για να υπολογίζουν τη ροπή αδράνειας ως προς ένα τυχαίο άξονα περιστροφής όταν γνωρίζουν τη ροπή αδράνειας ως προς άλλο άξονα περιστροφής, παράλληλο με αυτόν.

- β.** Μπορεί να ζητηθεί από τους μαθητές να υπολογίσουν:
- i. τη ροπή αδράνειας του συστήματος δυο σωμάτων αμελητέων διαστάσεων, ίσων μαζών, που συνδέονται με αβαρή ράβδο για άξονα που είναι κάθετος στη ράβδο και διέρχεται από το μέσον της.
 - ii. τη ροπή αδράνειας λεπτού ομογενούς δακτυλίου για άξονα κάθετο στο επίπεδό του που περνάει από το κέντρο του (και τα δυο προβλήματα είναι λυμένα στο βιβλίο).
- γ.** Η σχέση που δίνει τη ροπή αδράνειας για όλα τα σώματα είναι της μορφής $I=MD^2$, όπου το D έχει διαστάσεις μήκους και προσδιορίζεται πειραματικά.
(Μια τέτοια περίπτωση περιγράφεται στην εργαστηριακή άσκηση 4)

Ενότητα 5

Ο θεμελιώδης νόμος της στροφικής κίνησης

- α.** Η σχέση $\Sigma\tau=I\alpha$ ισχύει τόσο για σταθερό άξονα όσο και για τις περιπτώσεις στις οποίες ο άξονας μετατοπίζεται.
Ένα καλό παράδειγμα στο οποίο εφαρμόζεται η πρόταση αυτή είναι το πρόβλημα του γιο- γιο (παράδειγμα 4.10).
- β.** Οι μαθητές πρέπει να γνωρίζουν ότι μπορούμε να επιλέξουμε αυθαίρετα τον άξονα περιστροφής για τον οποίο εφαρμόζουμε το θεμελιώδη νόμο για τη στροφική κίνηση. Οι σχέσεις που δίνουν τη συνισταμένη των ροπών και τη ροπή αδράνειας θα είναι διαφορετικές για κάθε άξονα, το τελικό συμπέρασμα όμως θα είναι το ίδιο, όποιον άξονα κι αν επιλέξουμε.

Στροφορμή - Διατήρηση της στροφορμής

α. Η εισαγωγή της έννοιας γίνεται επαγωγικά,. Εισάγεται αρχικά η έννοια «στροφορμή του υλικού σημείου», έπειτα η έννοια «στροφορμή στερεού σώματος» και, τέλος, η «στροφορμή συστήματος σωμάτων».

β. Έχει ενδιαφέρον να ζητηθεί από τους μαθητές να υπολογίσουν τη στροφορμή της Γης εξαιτίας της περιστροφής της περί τον άξονά της. Δίνεται η ακτίνα της γήινης σφαίρας $R_Γ=6.400 \text{ km}$ και η μάζα της Γης $M_Γ=6 \times 10^{24} \text{ kg}$, καθώς και η σχέση που δίνει τη ροπή αδράνειας ομογενούς σφαίρας για άξονα που διέρχεται από το κέντρο της $I=2mR^2/5$. Οι μαθητές γνωρίζουν ότι η περίοδος περιστροφής της Γης περί τον άξονά της είναι $24\text{h}=24 \times 60 \times 60\text{s}$.

Η τιμή που υπολογίζεται με τους τύπους αυτούς διαφέρει από την τιμή που δίνουν οι πίνακες. Είναι σκόπιμο να κληθούν οι μαθητές να διατυπώσουν υποθέσεις για την ερμηνεία αυτής της απόκλισης.

γ. Ο 2^{ος} νόμος του Newton στη μεταφορική κίνηση μπορεί να γραφεί με τη μορφή $\Sigma F = dp/dt$. Το αντίστοιχό του στη στροφική κίνηση είναι η σχέση $\Sigma \tau = dL/dt$.

Ο νόμος μπορεί να εφαρμοστεί στην περίπτωση ενός σώματος αλλά και στην περίπτωση συστήματος σωμάτων. Οι ροπές που αναφέρονται στην τελευταία περίπτωση οφείλονται σε εξωτερικές δυνάμεις.

δ. Αν οι εξωτερικές δυνάμεις που δέχεται ένα σώμα δεν ασκούν ροπή στο σώμα, η στροφορμή του σώματος διατηρείται.

Την αλήθεια της πρότασης μπορούμε να τη δείξουμε εύκολα με τη βοήθεια του σωλήνα ΜΣ 190.0.

Περνάμε μέσα από το σωλήνα ένα ανθεκτικό νήμα από το οποίο δένουμε ένα σχετικά βαρύ αντικείμενο (για την αποφυγή ατυχήματος είναι προτιμότερο να δέσουμε ένα σχετικά μαλακό αντικείμενο, όπως μια κουβαρίστρα με σπάγκο ή ένα ρολό υγείας). Κρατάμε το άλλο άκρο του νήματος και θέτουμε σε περιστροφική κίνηση το σώμα. Παρατηρούμε ότι αν τραβήξουμε το νήμα, δηλαδή αν αυξήσουμε τη δύναμη που ασκούμε σ' αυτό - η ροπή αυτής της δύναμης ως προς τον άξονα περιστροφής είναι μηδενική - θα μικρύνει η ακτίνα περιστροφής του σώματος - άρα η ροπή αδράνειάς του - και θα αυξηθεί η γωνιακή του ταχύτητα.

ε. Το κλασικό πείραμα με τον άνθρωπο που στέκεται σε στρεφόμενο κάθισμα και κρατάει στα χέρια του αλτήρες είναι κατάλληλο για να δείξουμε την ισχύ της αρχής διατήρησης της στροφορμής: Βάζουμε ένα μαθητή σε μια στρεφόμενη καρέκλα, του δίνουμε να κρατήσει δυο αλτήρες και στη συνέχεια περιστρέφουμε την καρέκλα. Ζητάμε από το μαθητή να ανοιγοκλείνει τα χέρια του και παρατηρούμε την αυξομείωση της γωνιακής ταχύτητας περιστροφής.

στ. Αν το σχολείο διαθέτει ένα τροχό ποδηλάτου με χερούλια, μπορούμε να δώσουμε σε ένα μαθητή να στρέψει τον άξονα του τροχού κατά 180° α) όταν ο τροχός είναι ακίνητος και β) όταν ο τροχός στρέφεται. Θα διαπιστώσει ότι στη δεύτερη περίπτωση ο τροχός στρέφεται πολύ πιο δύσκολα.

Αν ο μαθητής που κρατάει τον στρεφόμενο τροχό βρίσκεται πάνω σε περιστρεφόμενη καρέκλα, θα παρατηρήσουμε ότι κάθε φορά που ο μαθητής στρέφει τον άξονα περιστροφής αλλάζει και η φορά κατά την οποία περιστρέφεται η καρέκλα.

ζ. Στην ενότητα αυτή αντιστοιχούν οι διαφάνειες

Γ- 4.10 Άνθρωπος που βρίσκεται πάνω σε στρεφόμενο κάθισμα. (εφαρμογή της αρχής διατήρησης της στροφορμής)

Γ- 4.11 Άνθρωπος πάνω σε στρεφόμενο κάθισμα, κρατώντας ένα τροχό ποδηλάτου που στρέφεται. Η αναστροφή του τροχού προκαλεί την περιστροφή ολόκληρου του συστήματος.

Γ- 4.12 Μια γάτα που αφέθηκε να πέσει από μεγάλο ύψος κατάφερε να φτάσει στο έδαφος όρθια!

Ενότητα 7

Κινητική ενέργεια λόγω περιστροφής

Έργο κατά τη στροφορμική κίνηση

α. Τα σώματα που κάνουν στροφορμική κίνηση έχουν κινητική ενέργεια $K = I\omega^2/2$. Τα σώματα που κάνουν σύνθετη κίνηση έχουν κινητική ενέργεια και λόγω της μεταφορικής κίνησης ($mv^2/2$) και λόγω της στροφορμικής τους κίνησης ($I\omega^2/2$). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση των σωμάτων που κυλούν χωρίς να ολισθαίνουν. Στην περίπτωση αυτή η ταχύτητα του κέντρου μάζας του σώματος ισούται με το γινόμενο $v_{cm} = \omega R$, δηλαδή είναι ίση με τη

γραμμική ταχύτητα των σημείων της περιφέρειάς του. Η σχέση αυτή απλοποιεί τα προβλήματα αυτής της κατηγορίας.

β. Όταν ένα σώμα του οποίου η μηχανική ενέργεια είναι δεδομένη κάνει ταυτόχρονα μεταφορική και στροφική κίνηση αποκτά ταχύτητα μεταφοράς μικρότερη από αυτή που θα αποκτούσε το σώμα αν έκανε μόνο μεταφορική κίνηση.

Η αλήθεια της πρότασης μπορεί να καταδειχτεί με δυο ρολά χαρτί υγείας: Αφήνουμε τα δυο ρολά να πέσουν από το ίδιο ύψος. Το ένα κάνει ελεύθερη πτώση. Το δεύτερο το κρατάμε από την άκρη του χαρτιού και το αφήνουμε να πέσει.

Παρατηρούμε ότι το δεύτερο ρολό , που κάνει σύνθετη κίνηση, πέφτει πιο αργά. Αυτό αποδεικνύει ότι η ταχύτητα του κέντρου μάζας του είναι μικρότερη από την αντίστοιχη ταχύτητα του πρώτου. (Το πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπισθεί και ως πρόβλημα σύνθετης κίνησης, όπως στο παράδειγμα 4.10).

γ. Αν η μηχανική ενέργεια ενός στρεφόμενου σώματος είναι δεδομένη, η ταχύτητα μεταφοράς του εξαρτάται από τη ροπή αδράνειας. Έτσι, π.χ. αν αφήσουμε να κυλήσουν από στην κορυφή του πλάγιου επιπέδου δυο τροχοί της ίδιας μάζας, αυτός που έχει μεγαλύτερη ροπή αδράνειας θα φτάσει στη βάση με μικρότερη ταχύτητα.

δ. Πρέπει να καταστεί σαφές στους μαθητές ότι η κύλιση ενός σώματος προϋποθέτει την ύπαρξη τριβής. Πρόκειται για στατική τριβή και γι' αυτό κατά την κύλιση δεν έχουμε απώλειες ενέργειας.

Οι τυχόν απώλειες ενέργειας κατά την κύλιση οφείλονται στην παραμόρφωση του κυλιόμενου σώματος ή του επιπέδου στο οποίο γίνεται η κύλιση, παραμόρφωση που συνεπάγεται ροπή στο κυλιόμενο σώμα που αντιτίθεται στην κύλισή του (τριβή κύλισης).

Μερικά σχόλια για τις εργαστηριακές ασκήσεις

Στο κεφάλαιο αυτό αντιστοιχούν δύο από τις υποχρεωτικές εργαστηριακές ασκήσεις:

- i. Προσδιορισμός της ροπής αδράνειας κυλίνδρου, κυλιόμενου σε πλάγιο επίπεδο'.
- ii. Έλεγχος (επιβεβαίωση) της αρχής διατήρησης της μηχανικής ενέργειας με ανακύκλωση.

Και στα δυο πειράματα το βασικό πρόβλημα είναι να εξασφαλιστεί η δυνατότητα στον κύλινδρο -ή τη σφαίρα- να κυλίνει χωρίς ολίσθηση. Αυτό μπορούμε να το εξασφαλίσουμε στο πρώτο πείραμα με τη χρήση πλάγιου επιπέδου που έχει μικρή κλίση και δεν είναι λείο, ενώ στο δεύτερο αν χρησιμοποιήσουμε σφαίρα που δεν είναι λεία (η γυάλινη ή σιδερένια σφαίρα που συνοδεύουν το φυγοκεντρικό δίσκο δεν ανταποκρίνονται σε αυτό τον περιορισμό και γι αυτό χρησιμοποιήθηκε μια μπίλια από το ποντίκι ηλεκτρονικού υπολογιστή. Το αποτέλεσμα θα είναι το ίδιο αποδεκτό αν χρησιμοποιηθεί σφαίρα από καουτσούκ).

Και στις δύο ασκήσεις οι μαθητές πρέπει να μετρήσουν τη διάμετρο του κυλιόμενου σώματος. Στον εργαστηριακό οδηγό προτείνεται να χρησιμοποιηθεί παχύμετρο ή, εναλλακτικά, να τοποθετηθεί το σώμα μεταξύ δυο παράλληλων επιπέδων των οποίων πρέπει να μετρήσουν την απόσταση. Αν ο διδάσκων θεωρήσει ότι ο χρόνος επαρκεί θα ήταν ενδιαφέρον να ζητηθεί να μετρηθεί η διάμετρος και με τους δυο τρόπους και να συγκρίνουν τα αποτελέσμα.

Για τη μέτρηση της ροπής αδράνειας οι μαθητές καλούνται να υπολογίσουν την επιτάχυνση του κυλίνδρου που αντιστοιχεί σε διαφορετικές τιμές της κατακόρυφης μετατόπισής του πάνω στο πλάγιο επίπεδο και στη συνέχεια να κατασκευάσουν το διάγραμμα $a=f(h)$. Από την κλίση του διαγράμματος, η οποία, όπως αποδεικνύεται στον εργαστηριακό οδηγό ισούται με $g/(1+D^2/r^2)l$ επιτρέπει τον υπολογισμό του D και εμμέσως της ροπής αδράνειας του κυλίνδρου.

Με τις ερωτήσεις με τον τίτλο «ελέγξτε τις γνώσεις σας» επιδιώκεται:

- i. να ελεγχθεί αν οι μαθητές έχουν κατανοήσει ότι κατά την κύλιση ενός σώματος χωρίς ταυτόχρονη ολίσθηση η ταχύτητα του κέντρου μάζας του σώματος είναι ίδια με τη γραμμική ταχύτητα των σημείων της περιφέρειάς του. Επομένως, αν μαζί με την κύλιση του κυλίνδρου υπάρχει και ολίσθηση δεν θα ισχύει η σχέση $v=\omega r$.

- ii. να ελεγχθεί αν οι μαθητές έχουν κατανοήσει ότι η ροπή αδράνειας αναφέρεται σε στερεά σώματα. Σώματα δηλαδή στα οποία τα στοιχειώδη τμήματα από τα οποία αποτελείται βρίσκονται σε σταθερή θέση σε σχέση με τον άξονα περιστροφής, κάτι που δεν ισχύει στην περίπτωση ενός κυλινδρικού δοχείου που περιέχει υγρό μέχρι τη μέση του.
- iii. να ελεγχθεί αν κατανόησαν οι μαθητές ότι κατά τις μετρήσεις υπεισέρχονται σφάλματα τα οποία περιορίζονται αν η μέτρηση επαναλαμβάνεται πολλές φορές. Έτσι, η τιμή του μονωνύμου $g/(I+D^2/r^2)l$ που προσδιορίζεται από την κλίση της ευθείας $a=f(h)$ είναι ακριβέστερη από την τιμή που προκύπτει από μια μόνο μέτρηση της τιμής της επιτάχυνσης.

Σημειώσεις:

1. Είναι προτιμότερο να μετρηθεί η ροπή αδράνειας ενός κυλίνδρου από μαλακό υλικό (π.χ. ένα ρολό με χαρτί υγείας). Αποφεύγουμε το θόρυβο κατά την κύλιση ή την πτώση του κυλίνδρου στο πάτωμα.
2. Ένα πρόβλημα που μπορεί να εμφανιστεί κατά την εκτέλεση του πειράματος είναι ο κύλινδρος να μην κινείται ευθύγραμμα πάνω στο πλάγιο επίπεδο. Το πρόβλημα εμφανίζεται όταν το σανίδι που χρησιμοποιείται ως πλάγιο επίπεδο είναι στρεβλό.

Στο δεύτερο πείραμα ζητείται από τους μαθητές:

- i. να υπολογίσουν το ύψος από το οποίο έπρεπε να αφεθεί ένα σώμα που ολισθαίνει χωρίς τριβές, για να εκτελέσει ανακύκλωση.
Το ύψος αυτό υπολογίζεται θεωρητικά αν λάβουμε υπόψη ότι στο ελάχιστο ύψος η σφαίρα θα έχει δυναμική ενέργεια $U=mg(h+R\sin\theta)$, η οποία στο ανώτερο σημείο της κυκλικής τροχιάς θα γίνει κινητική $(mv^2/2)$ (1) και δυναμική ενέργεια $[mg(2r-R)]$ (2). Η ταχύτητα που αναφέρεται στην (1) είναι η ελάχιστη ταχύτητα για την οποία γίνεται ανακύκλωση, δηλαδή η τιμή για την οποία ισχύει $v^2=g(2r-R)$.
Από την αρχή διατήρησης της ενέργειας προκύπτει ότι $mg(h+R\sin\theta)=mg(2r-R)+mg(2r-R)/2$ ή $h=3r-(3+\sin\theta)R$
- ii να εξηγήσουν για ποιο λόγο δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μια γυάλινη ή μεταλλική σφαίρα. Επιδιώκεται και πάλι να ελεγχθεί αν κατανόησαν ότι η κύλιση μιας σφαίρας προϋποθέτει την ύπαρξη στατικής τριβής, κάτι που δεν εξασφαλίζεται με τις σφαίρες αυτές.

- iii Τέλος, οι μαθητές καλούνται να απαντήσουν στο ερώτημα αν από την ασυμφωνία μεταξύ της πειραματικής τιμής του h και της θεωρητικής του τιμής μπορούν να συμπεράνουν ότι δεν ισχύει η αρχή διατήρησης της ενέργειας. Η προφανής απάντηση είναι αρνητική. Οι μαθητές πρέπει να κατανοήσουν ότι αυτό που μπορούμε να ελέγξουμε είναι αν διατηρείται η μηχανική ενέργεια της σφαίρας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΚΡΟΥΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ

Στόχοι:

Σύμφωνα με το πρόγραμμα σπουδών, με τη διδασκαλία του κεφαλαίου αυτού ο μαθητής πρέπει να είναι ικανός :

- *Να χρησιμοποιεί τη διατήρηση της ορμής και της ενέργειας στη μελέτη της κρούσης*
- *Με απλά παραδείγματα, να διακρίνει τα αδρανειακά από τα μη αδρανειακά συστήματα αναφοράς και πώς αυτά επηρεάζουν τη μορφή του νόμου του Newton.*
- *Να διατυπώνει με λόγια και με τύπους τους γαλιλαϊκούς μετασχηματισμούς θέσης, χρονικής στιγμής, ταχύτητας, ορμής και ενέργειας.*
- *Να διακρίνει τη σημασία του συστήματος κέντρου μάζας στην περίπτωση δύο αλληλοεπιδρώντων σωμάτων.*
- *Να διατυπώνει ποιοτικά και ποσοτικά το φαινόμενο Doppler και να αναφέρει τις εφαρμογές του.*

Ειδικότερα, κατά τη δική μας γνώμη, μετά τη διδασκαλία αυτού του κεφαλαίου ο μαθητής πρέπει:

- *Να διακρίνει τα διάφορα είδη κρούσεων και να γράφει τις εξισώσεις που εκφράζουν την ορμή και τη μηχανική ενέργεια του συστήματος πριν την κρούση και μετά από αυτήν.*
- *Να κατανοήσει ότι σε όλα τα προβλήματα κρούσης η ορμή του συστήματος διατηρείται.*
- *Να κατανοήσει ότι η κίνηση των σωμάτων περιγράφεται με διαφορετικό τρόπο στα διάφορα συστήματα αναφοράς,*
- *Να γνωρίζει τη σημασία των όρων «αδρανειακά» και «μη αδρανειακά» συστήματα αναφοράς.*
- *Να μπορεί να χρησιμοποιεί τους μετασχηματισμούς του Γαλιλαίου για να προσδιορίζει τις συντεταγμένες θέσης, την ταχύτητα και την επιτάχυνση ενός σώματος σε ένα αδρανειακό σύστημα αναφοράς όταν γνωρίζει τα αντίστοιχα μεγέθη σε ένα άλλο αδρανειακό σύστημα.*
- *Να μπορεί να προσδιορίζει τη θέση του κέντρου μάζας ενός συστήματος σωμάτων .*

- Να μπορεί να εφαρμόζει την αρχή διατήρησης της ορμής σε σύστημα αναφοράς που συνδέεται με το κέντρο μάζας .
- Να κατανοήσει ότι όταν ο παρατηρητής κινείται σε σχέση με την πηγή αντιλαμβάνεται το κύμα με συχνότητα διαφορετική από τη συχνότητα της πηγής και να είναι σε θέση να προσδιορίζει τη συχνότητα που αντιλαμβάνεται ο παρατηρητής, στις διάφορες περιπτώσεις κίνησης,

Πίνακας προτεινόμενων ασκήσεων - προβλημάτων

<i>Ενότητα</i>	<i>Προτεινόμενες ασκήσεις</i>	<i>Προτεινόμενα προβλήματα</i>
1. Κρούσεις	5.22, 5.24, 5.28, 5.30	5.45 5.48 5.49 5.53
2. Αδρανειακά και μη αδρανειακά συστήματα αναφοράς Σχετική ταχύτητα στα αδρανειακά συστήματα	5.32	
3 Σύστημα αναφοράς κέντρου μάζας	5.35, 5.36, 5.38	
4. Το φαινόμενο Doppler.		

Ενότητα 1

Κρούσεις

α. Σε όλα τα προβλήματα αυτού του κεφαλαίου τα σώματα αντιμετωπίζονται ως υλικά σημεία. Δεν έχουμε λάβει δηλαδή υπόψη τη δυνατότητά τους να περιστρέφονται.

β. Είναι σκόπιμο να τονιστεί ότι σ' όλες τις κρούσεις, ακόμη κι αν το σύστημα των συγκρουόμενων σωμάτων δεν είναι μονωμένο, η ορμή διατηρείται.

γ. Οι κρούσεις που περιγράφονται στο βιβλίο του μαθητή, με εξαίρεση αυτή που αναφέρεται στο παράδειγμα 5.2, είναι κεντρικές. Για εξάσκηση των μαθητών είναι σκόπιμο να ζητηθεί να γράψουν τις εξισώσεις που ισχύουν στην

πλάγια ελαστική κρούση, χωρίς να επεκταθούν και στη λύση του συστήματος των εξισώσεων που προκύπτει.

- δ. Στην ενότητα αυτή αντιστοιχεί ή διαφάνεια
Γ-5.1 Φωτογραφία δύο συγκρουόμενων σφαιρών.

Ενότητα 2

Αδρανειακά και μη αδρανειακά συστήματα

α. Μέσα από διάφορα νοητικά παραδείγματα θα μπορούσε να γίνει κατανοητό ότι η τροχιά και η ταχύτητα ενός κινητού εξαρτώνται από το αδρανειακό σύστημα ως προς το οποίο ο παρατηρητής είναι ακίνητος Ένα καλό παράδειγμα θα ήταν αυτό του σχήματος 5.11.

β. Όταν ο παρατηρητής βρίσκεται μέσα σε ένα πλοίο ή ένα τρένο που κινούνται με σταθερή ταχύτητα δεν έχει τη δυνατότητα να εκτελέσει κάποιο πείραμα από το αποτέλεσμα του οποίου θα μπορούσε να καταλάβει ότι κινείται σε σχέση με τη Γη (εκτός αν έχει τη δυνατότητα να βλέπει αντικείμενα ακίνητα ως προς αυτή) αφού οι νόμοι της φυσικής ισχύουν με τον ίδιο τρόπο στα δυο αδρανειακά συστήματα. Αντίθετα, αν το πλοίο ή το τρένο κινούνται με επιτάχυνση – όταν δηλαδή δεν αποτελούν αδρανειακά συστήματα αναφοράς – ο παρατηρητής μπορεί να εκτελέσει απλά πειράματα με τα οποία διαπιστώνει ότι το σύστημα επιταχύνεται (π.χ αν κρεμάσει με νήμα ένα σώμα από την οροφή θα παρατηρήσει ότι το νήμα ισορροπεί σε θέση που δεν είναι κατακόρυφη).

γ. Στο παράδειγμα του σχ. 5.10 ο παρατηρητής που βρίσκεται μέσα στο επιταχυνόμενο ασανσέρ βλέπει το σώμα να ισορροπεί και για να ερμηνεύσει την αύξηση του βάρους του σώματος δέχεται την ύπαρξη μιας δύναμης - της δύναμης D' Alembert - την προέλευση της οποίας αδυνατεί να εξηγήσει.

δ. Ένα σύστημα αναφοράς θεωρείται αδρανειακό όταν από αυτό δεν παρατηρείται καμία επιτάχυνση σε ένα σώμα στο οποίο πιστεύουμε ότι δεν ασκείται καμία δύναμη.

Πώς όμως μπορούμε να είμαστε βέβαιοι ότι ένα σώμα δεν δέχεται καμία δύναμη; Ένα σώμα μπορεί να δέχεται βαρυτικές ή ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις από άλλα σώματα που βρίσκονται στο περιβάλλον του. Οι δυνάμεις όμως αυτές μειώνονται απότομα όταν οι αποστάσεις μεταξύ των σωμάτων αυξάνονται. Μπορούμε λοιπόν να υποθέσουμε ότι ένα σώμα που βρίσκεται πολύ μακριά από

άλλα σώματα πρακτικά δεν υπόκειται σε δυνάμεις και επομένως δεν επιταχύνεται.

Ένα συνηθισμένο άστρο απέχει το λιγότερο 10^{16} m από τα γειτονικά του άστρα, η βαρυτική δύναμη που δέχεται από αυτά είναι σχεδόν μηδενική. Επομένως οι απλανείς αστέρες μπορούν, με καλή προσέγγιση, να ορίσουν ένα αδρανειακό σύστημα αναφοράς.

Η Γη, αφενός λόγω της ιδιοπεριστροφής και αφετέρου λόγω της περιφοράς της γύρω από τον Ήλιο, δεν αποτελεί αδρανειακό σύστημα.

Ένα εργαστήριο που βρίσκεται στον Ισημερινό υπόκειται σε επιτάχυνση

$$a_{\kappa} = \frac{v^2}{R_{\Gamma}} = \omega^2 R_{\Gamma} = 0,034 \text{ m/s}^2$$

λόγω της περιστροφής της Γης γύρω από τον άξονα της. Η επιτάχυνση αυτή είναι αμελητέα για πολλές από τις εργαστηριακές μετρήσεις.

Η επιτάχυνση της Γης λόγω της περιφοράς της γύρω από τον Ήλιο είναι ακόμα μικρότερη, περίπου $6 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$.

Έτσι, παρόλο που η Γη δεν είναι αδρανειακό σύστημα, για πολλές μετρήσεις αποτελεί μια καλή προσέγγιση τέτοιου συστήματος.

Τα άστρα, επειδή αλληλεπιδρούν βαρυτικά μεταξύ τους, συγκροτούν κατά ομάδες τους γαλαξίες. Από τη μελέτη των φασματικών γραμμών (φαινόμενο Doppler) υπολογίζεται ότι η ταχύτητα του Ήλιου ως προς το κέντρο του Γαλαξία είναι $3 \times 10^5 \text{ m/s}$. Αν θεωρήσουμε ότι ο Ήλιος διαγράφει κυκλική τροχιά γύρω από το κέντρο του Γαλαξία (που απέχει περίπου $3 \times 10^{20} \text{ m}$) η

επιτάχυνση του ως προς αυτό είναι $a_{\kappa} = \frac{v^2}{R} = 3 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$. Η επιτάχυνση

αυτή είναι πολύ μικρή και μπορεί να αγνοηθεί.

ε. Στην ενότητα αυτή αντιστοιχούν οι διαφάνειες

Γ-5.2 Η τροχιά της Σελήνης (α) όπως φαίνεται από τη Γη. (β) όπως θα την έβλεπε ένας παρατηρητής ακίνητος στο Διάστημα.

Γ-5.3 Η ζύγιση του ίδιου σώματος (α) μέσα με ασανσέρ που κινείται με σταθερή ταχύτητα (αδρανειακό σύστημα) και (β) μέσα σε ασανσέρ που επιταχύνεται δίνει διαφορετικό αποτέλεσμα

Γ-5.4 Ο επιβάτης του τρένου αντιλαμβάνεται την κίνηση της κυρίας διαφορετικά από ό,τι ένας παρατηρητής ακίνητος στο σταθμό.

Ενότητα 3

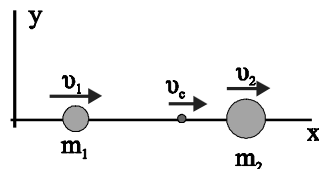
Σύστημα αναφοράς κέντρου μάζας

α. Αν θεωρήσουμε ότι μια τυχαία χρονική στιγμή τα σώματα που αποτελούν το σύστημα κατέχουν σταθερή θέση, το σύστημα μπορεί να θεωρηθεί, εκείνη τη στιγμή, ένα στερεό σώμα. Το κέντρο μάζας αυτού του υποθετικού στερεού θα είναι το κέντρο μάζας του συστήματος.

Είναι ευνόητο ότι όταν αλλάζει η σχετική θέση των σωμάτων που συναπαρτίζουν το σύστημα αλλάζει, γενικά, και η θέση του κέντρου μάζας του συστήματος.

β. Ο δεύτερος νόμος του Newton και ο θεμελιώδης νόμος της μηχανικής σε σύστημα σωμάτων.

Έστω ότι έχουμε δύο σώματα (υλικά σημεία) μαζών m_1 και m_2 που κινούνται με ταχύτητες v_1 και v_2 αντίστοιχα όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα



Από τη σχέση $x_{cm} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2}$ που δίνει

κάθε χρονική στιγμή τη θέση του κέντρου μάζας προκύπτει :

$$\frac{\Delta x_{cm}}{\Delta t} = \frac{m_1 \frac{\Delta x_1}{\Delta t} + m_2 \frac{\Delta x_2}{\Delta t}}{m_1 + m_2} \quad \text{ή} \quad v_{cm} = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} \quad \text{ή}$$

$$M v_{cm} = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

Γενικεύοντας για ένα οποιοδήποτε σύστημα σωμάτων καταλήγουμε ότι

$$M v_{cm} = m_1 v_1 + m_2 v_2 + \dots + m_n v_n = \sum m_i v_i \quad (1)$$

Το δεξιό μέλος της σχέσης αυτής είναι η ολική ορμή \mathbf{p} του συστήματος.
Επομένως

$$M\mathbf{v}_{cm} = \sum m_i \mathbf{v}_i = \mathbf{p}$$

Άρα η ολική ορμή του συστήματος είναι ίση με την ορμή ενός σώματος μάζας ίσης με την συνολική μάζα του συστήματος που κινείται με ταχύτητα ίση με την ταχύτητα του κέντρου μάζας του συστήματος.

Από τη σχέση αυτή προκύπτει ότι

$$M \frac{\Delta \mathbf{v}_{cm}}{\Delta t} = \sum m_i \frac{\Delta \mathbf{v}_i}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{p}}{dt} \quad \text{ή} \quad M\mathbf{a}_{cm} = \sum m_i \mathbf{a}_i = \frac{d\mathbf{p}}{dt}$$

όμως

$$\sum m_i \mathbf{a}_i = \sum \mathbf{F}_i$$

και επειδή σε ένα σύστημα σωμάτων το διανυσματικό άθροισμα των εσωτερικών δυνάμεων είναι μηδέν

$$\sum \mathbf{F}_i = \sum \mathbf{F}_{εξ}$$

έχουμε:

$$\sum \mathbf{F}_{εξ} = M\mathbf{a}_{cm} = \frac{d\mathbf{p}}{dt}$$

που αποτελεί και το δεύτερο νόμο του Newton για σύστημα σωμάτων.

Από την εξίσωση (1) μπορούμε να βγάλουμε άλλο ένα σημαντικό συμπέρασμα.

$$M\mathbf{v}_{cm} = \sum m_i \mathbf{v}_i \Leftrightarrow M \frac{\Delta \mathbf{v}_c}{\Delta t} = \sum m_i \frac{\Delta \mathbf{v}_i}{\Delta t}$$

δηλαδή

$$M\mathbf{a}_{cm} = \sum m_i \mathbf{a}_i = \sum \mathbf{F}_i = \sum \mathbf{F}_{εξ}$$

Άρα η συνισταμένη των εξωτερικών δυνάμεων που επιδρούν στο σύστημα ισούται με το γινόμενο της ολικής μάζας του συστήματος επί την επιτάχυνση του κέντρου μάζας του συστήματος.

γ. Αν δυο ή περισσότερα αρχικά ακίνητα σώματα κινούνται μόνο με την επίδραση των μεταξύ τους ελκτικών δυνάμεων, θα συναντηθούν στο κέντρο μάζας του συστήματος.

δ. Είναι ενδιαφέρον να γίνει ο υπολογισμός της προωθητικής δύναμης με σύστημα αναφοράς τη Γη, ώστε οι μαθητές να συνειδητοποιήσουν πόσο απλοποιούνται οι υπολογισμοί μας στο σύστημα αναφοράς του κέντρου μάζας.

ε. Στην ενότητα αυτή αντιστοιχεί η διαφάνεια

Γ-5.5 Η κίνηση του πυραύλου ως προς το σύστημα αναφοράς του κέντρου μάζας.

Ενότητα 4:

Το φαινόμενο Doppler

α. Οι ταχύτητες στις σχέσεις που δίνουν τη συχνότητα την οποία αντιλαμβάνεται ο παρατηρητής έχουν τη διεύθυνση της ευθείας που συνδέει την πηγή με τον παρατηρητή. Αν η κίνηση της πηγής ή του παρατηρητή γίνεται σε άλλη διεύθυνση, ως ταχύτητα θα θεωρήσουμε τη συνιστώσα της στη διεύθυνση πηγή – παρατηρητή.

β. Η μελέτη του φαινομένου Doppler στο βιβλίο του μαθητή αναφέρεται σε ηχητικά κύματα. Το φαινόμενο Doppler αφορά σε κάθε είδους μηχανικά ή ηλεκτρομαγνητικά κύματα.

γ. Οι σχέσεις που αναφέρονται για το φαινόμενο Doppler στο βιβλίο του μαθητή ισχύουν μόνο για τα μηχανικά κύματα, τα οποία υπακούουν στους μετασχηματισμούς του Γαλιλαίου.

Στην περίπτωση του φωτός, η ταχύτητα του οποίου είναι ανεξάρτητη από τη σχετική κίνηση πηγής παρατηρητή, η συχνότητα που αντιλαμβάνεται ο παρατηρητής δίνεται από τη σχέση

$$f' = \sqrt{\frac{c \pm u}{c \mp u}} f$$

Στη σχέση αυτή το f είναι η συχνότητα του κύματος που εκπέμπει η πηγή, f' η συχνότητα που αντιλαμβάνεται ο παρατηρητής και u η σχετική ταχύτητα κίνησης της πηγής ως προς τον παρατηρητή. Τα επάνω πρόσημα αντιστοιχούν στην περίπτωση που η πηγή πλησιάζει τον παρατηρητή ενώ τα κάτω στην περίπτωση που η πηγή απομακρύνεται απ' αυτόν. Για το φως, σε αντίθεση με τον ήχο, δεν υπάρχει διάκριση μεταξύ κίνησης της πηγής και κίνησης του παρατηρητή. Μόνο η σχετική ταχύτητα των δύο είναι σημαντική.

δ. Στο ένθετο αυτού του κεφαλαίου οι μαθητές μπορούν να βρουν μια ενδιαφέρουσα εφαρμογή του φαινομένου Doppler στην ιατρική.

ε. Στην ενότητα αυτή αντιστοιχούν οι διαφάνειες

Γ-5.6 Φαινόμενο Doppler. Τα μέτωπα ηχητικού αρμονικού κύματος που παράγει ακίνητη πηγή α) Ο παρατηρητής είναι ακίνητος. β) Ο παρατηρητής πλησιάζει την πηγή.

Γ-5.7 Φαινόμενο Doppler. Τα μέτωπα ηχητικού αρμονικού κύματος που παράγει η πηγή που πλησιάζει ακίνητος παρατηρητή.

Γ-5.8 Φαινόμενο Doppler. Η ηχητική πηγή απομακρύνεται από τον ακίνητο παρατηρητή.

Γ-5.9 Μέτωπα κύματος που δημιουργούνται στην επιφάνεια υγρού από κινούμενη πηγή.

Μερικά σχόλια για τις εργαστηριακές ασκήσεις του κεφαλαίου.

Από τις υποχρεωτικές εργαστηριακές ασκήσεις αυτής της τάξης, στο κεφάλαιο αυτό αντιστοιχεί η άσκηση: « Μελέτη της ελαστικής και μη ελαστικής κρούσης στο επίπεδο και έλεγχος των αρχών διατήρησης ενέργειας και ορμής».

Η άσκηση που περιγράφει ο εργαστηριακός οδηγός αναφέρεται στην κεντρική και στην πλάγια κρούση. Η μελέτη της κεντρικής κρούσης γίνεται μέσω των εργαστηριακών αμαξιδίων ΜΣ 230.0, τα οποία στη μια πλευρά τους φέρουν έμβολο ενώ στην άλλη πλευρά τους έχουν ειδική επιφάνεια με την οποία συγκολλούνται μεταξύ τους. Έτσι, αν η κρούση γίνει με το έμβολο θα είναι ελαστική ενώ αν γίνει με την άλλη πλευρά θα είναι πλαστική.

Η κίνηση των αμαξιδίων στο οριζόντιο επίπεδο είναι επιβραδυνόμενη- λόγω τριβών- και αυτό επιβάλλει οι όποιες μετρήσεις της ταχύτητας να γίνουν λίγο πριν και λίγο μετά την κρούση.

Αυτό που εύκολα μπορούν να παρατηρήσουν οι μαθητές είναι ότι όταν το ένα αμαξίδιο προσκρούει ελαστικά στο άλλο αμαξίδιο, που είναι αρχικά ακίνητο το πρώτο ακινητοποιείται, όπως γνωρίζουν από τη θεωρία, ενώ όταν η κρούση είναι πλαστική η ταχύτητα μετά την κρούση- όπως προκύπτει από τη μέτρηση της απόστασης πέντε κουκίδων του χρονομετρητή επί της χαρτοταινίας είναι ίση με το μισό της ταχύτητας πριν την κρούση.

Η μελέτη της πλάγιας κρούσης γίνεται με τη συσκευή ΜΣ 235.0. Η πραγματοποίηση αυτής της άσκησης απαιτεί τον προσδιορισμό των σημείων του δαπέδου στα οποία πέφτουν οι σφαίρες μετά την κρούση. Αυτό μπορεί να γίνει είτε μέσω της αμμοδόχου, όπως υποδεικνύεται στον οδηγό, είτε με τη βοήθεια καρμπόν που έχουν την αιθαλωμένη τους επιφάνεια πάνω σε λευκό χαρτί. Η αμμοδόχος πλεονεκτεί κατά το ότι μπορούμε να σβήνουμε τα ίχνη και να επαναλάβουμε όσες φορές χρειαστεί τις μετρήσεις μας.

Αυτό που πρέπει να προσέξουν οι μαθητές κατά την εκτέλεση της άσκησης είναι να εξασφαλίζεται ότι οι δυο σφαίρες, μετά την κρούση, κάνουν οριζόντια βολή. Αυτό εξασφαλίζεται όταν τα κέντρα των δύο σφαιρών βρίσκονται στο ίδιο ύψος- επιτυγχάνεται με τη ρύθμιση του ύψους του κοχλιωτού υποστηρίγματος των σφαιρών- και ελέγχεται με την ταυτόχρονη πτώση των δύο σφαιρών στο δάπεδο.

Η μόνη δυσκολία που ενδέχεται να αντιμετωπίσουν οι μαθητές στην άσκηση αυτή είναι η στήριξη των σφαιρών στο υποστήριγμα της συσκευής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΑ

Στόχοι

Σύμφωνα με το πρόγραμμα σπουδών, η διδασκαλία αυτού του κεφαλαίου στοχεύει να κάνει τον μαθητή να μπορεί:

- Να περιγράφει με λόγια και με τύπους το πείραμα Michelson.
- Να διατυπώνει με λόγια και με τύπους τους αδρανειακούς λορεντζιανούς μετασχηματισμούς θέσης - χρονικής στιγμής – μήκους - χρονικής διάρκειας – ταχύτητας – ορμής - ενέργειας και έντασης ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου.
- Να περιγράφει τυπικά φαινόμενα που ερμηνεύονται μόνο με την Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας.
- Να διακρίνει ότι η ισότητα αδρανειακής και βαρυτικής μάζας είναι η πειραματική βάση της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας.

Ειδικότερα, κατά τη δική μας γνώμη, μετά τη διδασκαλία αυτού του κεφαλαίου ο μαθητής πρέπει:

- Να γνωρίζει ότι η ταχύτητα του φωτός είναι η μεγαλύτερη που μπορεί να υπάρξει στη φύση.
- Να γνωρίζει ότι, αντίθετα με ό,τι συμβαίνει με τον ήχο και τα άλλα μηχανικά κύματα, η ταχύτητα του φωτός δεν εξαρτάται από την κίνηση της πηγής που το εκπέμπει.
- Να μπορεί να περιγράφει το πείραμα Michelson και να κατανοήσει τη σημασία του πειράματος αυτού.
- Να αντιλαμβάνεται ότι η χρονική διάρκεια ενός φαινομένου και το μήκος ενός αντικειμένου έχουν τιμές που εξαρτώνται από την ταχύτητα του παρατηρητή.
- Να γνωρίζει ότι οι μετασχηματισμοί του Γαλιλαίου για τη θέση και την ταχύτητα ενός σώματος δεν επαρκούν στις περιπτώσεις που η σχετική ταχύτητα των αδρανειακών συστημάτων πλησιάζει την ταχύτητα του φωτός.
- Να μπορεί, με αφετηρία τους μετασχηματισμούς Lorentz, να παράγει τους μετασχηματισμούς του Γαλιλαίου.
- Να γράφει τις σχέσεις που δίνουν τη (σχετικιστική) ορμή και ενέργεια ενός σώματος και να βρίσκει τις αντίστοιχες σχέσεις στην περίπτωση που το σώμα έχει ταχύτητα πολύ μικρότερη από την ταχύτητα του φωτός.
- Να γνωρίζει ότι σύμφωνα με τη θεωρία της σχετικότητας δεν ισχύουν η αρχή διατήρησης της μάζας και η αρχή διατήρησης της ενέργειας αλλά ισχύει η αρχή διατήρησης μάζας και ενέργειας.

- Να αντιλαμβάνεται ότι η γενική θεωρία της σχετικότητας είναι μια θεωρία για τη βαρύτητα.
- Να αντιλαμβάνεται ότι η παρουσία μιας μάζας καμπυλώνει το χωροχρόνο.
- Να γνωρίζει μερικά πειραματικά δεδομένα που επιβεβαιώνουν τη θεωρία της σχετικότητας και ερμηνεύονται με αυτήν.

Πίνακας προτεινόμενων ασκήσεων - προβλημάτων

<i>Ενότητα</i>	<i>Προτεινόμενες ασκήσεις-ερωτήσεις</i>	<i>Προτεινόμενα προβλήματα</i>
1. Το πείραμα Michelson- Morley Τα αξιώματα της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας	6.1, 6.2	
2. Ο χωρόχρονος Η σχετικότητα του χρόνου Η σχετικότητα του μήκους	6.27, 6.31	
3. Οι μετασχηματισμοί του Lorentz	6.10, 6.11	
4. Σχετικιστική ορμή Σχετικιστική ενέργεια	6.25, 6.30	
5. Μετασχηματισμοί έντασης ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου.	6.14	
6. Η γενική θεωρία της σχετικότητας		

Το πείραμα Michelson- Morley.

Τα αξιώματα της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας

α. Οι Michelson και Morley προσπάθησαν με το πείραμά τους να μετρήσουν την ταχύτητα με την οποία κινείται η Γη εντός του αιθέρα, την ύπαρξη του οποίου αποδέχονταν οι φυσικοί, την εποχή που πραγματοποιήθηκε το πείραμα.

Η ιδέα ανήκει στον Maxwell, ο οποίος επιχείρησε να μετρήσει την ταχύτητα με την οποία κινείται το ηλιακό σύστημα μέσα στον αιθέρα, βασιζόμενος σε αστρονομικές παρατηρήσεις, ειδικότερα σε παρατηρήσεις των εκλείψεων των δορυφόρων του πλανήτη Δία. Τις σκέψεις του ο Maxwell τις ανακοίνωσε στον Todd, προϊστάμενο του Michelson.

Ο Michelson περίμενε ότι δύο φωτεινοί παλμοί που εκπέμπονται – ο ένας κατά τη διεύθυνση της κίνησης της Γης και ο δεύτερος κάθετα σ' αυτή – αφού ανακλαστούν σε κάτοπτρα τοποθετημένα σε ίσες αποστάσεις, δεν επιστρέφουν ταυτόχρονα, όπως ακριβώς δυο όμοιες βάρκες που ξεκινάνε μαζί για να διατρέξουν την ίδια απόσταση, στη διεύθυνση του ρεύματος ή μια και κάθετα στο ρεύμα ή δεύτερη, δεν επιστρέφουν ταυτόχρονα στην αφετηρία τους. Αυτό που έκανε το πείραμα Michelson να φαίνεται μεγαλοφυές ήταν η τεχνική με την οποία προσπάθησε να μετρήσει τη χρονική διαφορά με την οποία επιστρέφουν οι δυο παλμοί.

Επειδή το συμπέρασμα του πειράματος που πραγματοποίησε ο Michelson, ότι δηλαδή δεν παρατηρήθηκε μετατόπιση των κροσσών του συμβολομέτρου ήταν απροσδόκητο, κορυφαίοι επιστήμονες, μεταξύ των οποίων ο Lorentz και ο Kelvin, του πρότειναν να επαναλάβει το πείραμά του με μεγαλύτερη ακρίβεια. Το πείραμα επαναλήφθηκε, αυτή τη φορά σε συνεργασία με τον Morley.

Το αποτέλεσμα του πειράματος Michelson - Morley κατέρριψε την υπόθεση της ύπαρξης ακίνητου αιθέρα.

β. Η ειδική θεωρία της σχετικότητας, αν και απλή στη δομή της, δύσκολα γίνεται κατανοητή γιατί τα συμπεράσματά της ξεφεύγουν από τα βιώματά μας.

Ακρογωνιαίος λίθος της ειδικής θεωρίας είναι η ιδιαιτερότητα της ταχύτητας του φωτός, η οποία, σε καμιά περίπτωση, δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται σαν τις άλλες ταχύτητες.

Ένα ερώτημα που φωτίζει την ιδιαιτερότητα της ταχύτητας του φωτός είναι : «πώς θα έβλεπε τον κόσμο κάποιος που ταξιδεύει πάνω σε ένα φωτόνιο;» Η απάντηση είναι ότι για τον ταξιδιώτη αυτό, σύμφωνα με τη θεωρία,

θα έπανε να υφίσταται ο χρόνος. Θα έβγαινε, δηλαδή, ουσιαστικά έξω από την πραγματικότητά μας!

γ. Στην ενότητα αυτή αντιστοιχούν οι διαφάνειες

Γ-6.1 Φωτογραφία σύγχρονου συμβολόμετρου.

Γ-6.2 Φωτογραφία των κροσσών συμβολής όπως σχηματίζονται στο συμβολόμετρο.

Γ-6.3 Οι ταχύτητες της Γης και του φωτός στο συμβολόμετρο των Michelson – Morley, αν υπήρχε το απόλυτο σύστημα αναφοράς του αιθέρα.

Ενότητα 2

Ο χωρόχρονος- Η σχετικότητα του χρόνου - **Η σχετικότητα του μήκους**

α. Πρέπει να τονιστεί ότι ένα γεγονός περιγράφεται πλήρως όταν γνωρίσουμε τις συντεταγμένες του χώρου και του χρόνου στο συγκεκριμένο σύστημα και ότι η έννοια του ταυτόχρονου είναι συνάρτηση του συστήματος αναφοράς το οποίο χρησιμοποιούμε.

β. Τα μεμονωμένα γεγονότα παριστάνονται με ένα σημείο σε διάγραμμα με άξονες τη θέση και το χρόνο (διάγραμμα Minkowski).

γ. Στην ενότητα αυτή αντιστοιχούν οι διαφάνειες:

Γ-6.4 “Νοητικό πείραμα” για τη μελέτη της διαστολής του χρόνου.

Γ-6.5 “Νοητικό πείραμα” για τη μελέτη της συστολής του μήκους.

Γ-6.6 -6.6 -6.7 -6.8 -6.9 Προσομοίωση από υπολογιστή της εικόνας ενός αντικειμένου που κινείται με σχετικιστική ταχύτητα ως προς ακίνητο παρατηρητή. Στο 6,6 το αντικείμενο είναι ακίνητο. Στο 6,7 κινείται με ταχύτητα 0,5c, στο 6,8 με 0,9c και στο 6,9 με ταχύτητα 0,99c.

Ενότητα 4

Σχετικιστική ορμή- Σχετικιστική ενέργεια

α. Ο όρος $\frac{m}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ στη σχέση $p = \frac{mv}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ (6.15) αναφέρεται μερικές

φορές ως «σχετικιστική μάζα» (m_{rel}), σε αντιδιαστολή με τη μάζα ηρεμίας (m). Η m_{rel} αυξάνει με την αύξηση της ταχύτητας και τείνει στο άπειρο όταν $v \rightarrow c$ (διαστολή μάζας). Η εισαγωγή της m_{rel} γίνεται με στόχο ο σχετικιστικός ορισμός της ορμής να γίνει με τρόπο που παραπέμπει στον κλασικό ορισμό $p = m_{rel}v$.

Αποφύγαμε την εισαγωγή της έννοιας «σχετικιστική μάζα» γιατί, ενώ δεν είναι απαραίτητη στην ανάπτυξη της σχετικότητας, η ύπαρξή της οδηγεί συχνά σε παρεξηγήσεις.

Για παράδειγμα, η δύναμη στη σχετικότητα είναι

$$F = \frac{dp}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{mv}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \right) = \frac{m}{\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{3/2}} a$$

Αν όμως υπολογίσουμε τη δύναμη με βάση το νόμο του Newton, με τη σχετικιστική μάζα στη θέση του m , θα καταλήγαμε στη σχέση

$$F = m_{rel}a = \frac{m}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} a, \text{ που δεν είναι ορθή.}$$

Το ίδιο συμβαίνει και με την κινητική ενέργεια. Η σχέση που ίσως θα περίμενε κανείς σαν σωστή $K = \frac{1}{2} m_{rel}v^2$ δεν ταυτίζεται με τη σχέση

$$K = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - mc^2.$$

Μετασχηματισμοί έντασης ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου

α. Η ολοκληρωμένη ανάπτυξη του θέματος είναι πολύ δύσκολη στο επίπεδο της Γ' τάξης του λυκείου. Θεωρούμε ότι είναι αρκετό να κατανοήσουν οι μαθητές ότι το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο είναι δυο διαφορετικές όψεις του ίδιου πράγματος, ανάλογα με το σύστημα αναφοράς από το οποίο το παρακολουθούμε.

β. Είναι ενδιαφέρον να τονιστεί ότι η ηλεκτρομαγνητική θεωρία δε χρειάστηκε να τροποποιηθεί από τη θεωρία της σχετικότητας

γ. Στην ενότητα αυτή αντιστοιχούν οι διαφάνειες:

Γ-6.10 Φορτισμένο σωματίδιο έχει ταχύτητα u παράλληλη σε ευθύγραμμο ρευματοφόρο αγωγό. (α) Ως προς το σύστημα αναφοράς Σ του αγωγού το σωματίδιο δέχεται μαγνητική δύναμη. (β) Ως προς το σύστημα αναφοράς Σ' του σωματιδίου η δύναμη που δέχεται είναι ηλεκτρική.

Γ-6.11 (α) Φορτισμένος πυκνωτής στο σύστημα αναφοράς Σ , ως προς το οποίο είναι ακίνητος (β) Ο πυκνωτής ως προς το αδρανειακό σύστημα αναφοράς Σ' που κινείται ως προς το πρώτο με ταχύτητα u .

Ενότητα 6

Η γενική θεωρία της σχετικότητας

α. Η γενική θεωρία της σχετικότητας, ή, πιο σωστά, **θεωρία του πεδίου βαρύτητας** του Einstein, είναι γενίκευση της ειδικής θεωρίας. Η γενικευμένη αυτή θεωρία είναι θεωρία γεωμετρική και περιγράφει τον καμπύλο χωρόχρονο.

Στην ειδική θεωρία της σχετικότητας το πεδίο βαρύτητας είναι απόν και ο χωρόχρονος είναι επίπεδος. Σε ένα καμπύλο χωρόχρονο υπάρχει πάντοτε ένα πεδίο βαρύτητας ή, απλά, ένα βαρυτικό πεδίο, το οποίο είναι αποτέλεσμα της ύλης και το οποίο δημιουργεί την καμπυλότητα του χωροχρόνου.

Θα μπορούσαμε επομένως να πούμε ότι η καμπυλότητα του χωροχρόνου και το πεδίο βαρύτητας είναι συνώνυμα και το ένα δε νοείται όταν απουσιάζει το άλλο.

Κατά τη θεωρία του Einstein η ύλη δημιουργεί καμπυλότητα. Η σχέση ανάμεσα στην ποσότητα της ύλης και το βαθμό καμπυλότητας είναι απλή αλλά

αποδεικνύεται δύσκολα. Εδώ πρέπει να τονιστεί ότι όταν ο χωρόχρονος αποκτάει καμπυλότητα, δηλαδή τοπικές περιοχές που χαρακτηρίζονται από καμπυλότητα, γίνεται «απόλυτος», γιατί τότε θέσεις και ταχύτητες καθορίζονται σε σχέση με τις τοπικές αυτές περιοχές καμπυλότητας. Έτσι, ο χωρόχρονος αποκτά δομή και φυσικές ιδιότητες, χαρακτηριστικά που δεν έχει ο επίπεδος χωρόχρονος της ειδικής θεωρίας, ο οποίος είναι απλά ομογενής και ισότροπος.

β. Από τις τέσσερις δυνάμεις που υπάρχουν στη φύση (βαρυτική, ηλεκτρομαγνητική, ασθενής και ισχυρή δύναμη) η δύναμη της βαρύτητας φαίνεται να κατέχει ιδιαίτερη θέση. Οι άλλες δυνάμεις, όπως η ηλεκτρομαγνητική δύναμη, επενεργούν μέσα στο χωρόχρονο, που αποτελεί το σκηνικό στο οποίο εκτυλίσσονται τα φυσικά φαινόμενα ή γεγονότα. Η δύναμη της βαρύτητας είναι κάτι τελείως διαφορετικό. Δημιουργεί τις διαταράξεις στον ίδιο το χωρόχρονο, τον καμπυλώνει. Γι' αυτό, καμπυλότητα και βαρύτητα είναι ένα και το αυτό.

γ. Στην ενότητα αυτή αντιστοιχούν οι διαφάνειες

Γ-6.12 (α) Αστροναύτης μέσα σε ακίνητο διαστημόπλοιο. (β) Ο αστροναύτης όταν το διαστημόπλοιο επιταχύνεται. Ο αστροναύτης μπορεί να ερμηνεύσει τη συμπεριφορά των αντικειμένων γύρω του υποθέτοντας ότι βρίσκεται σε ένα πεδίο βαρύτητας.

Γ-6.13 'Νοητικό πείραμα': (α) Η κίνηση ενός σώματος μέσα σε επιταχυνόμενο διαστημόπλοιο όπως την αντιλαμβάνεται ένας εξωτερικός ακίνητος παρατηρητής. (β) Η κίνηση του σώματος όπως την αντιλαμβάνεται ένας επιβάτης του διαστημοπλοίου. Τα ίδια ισχύουν και αν αντικαταστήσουμε το σώμα με φωτεινή δέσμη.

Γ-6.14 Το βαρυτικό πεδίο του Ήλιου καμπυλώνει τις ακτίνες του φωτός που εκπέμπουν οι αστέρες.

Γ-6.15 Ο Ήλιος καμπυλώνει το χωροχρόνο....

Μια γενική παρατήρηση:

Το κεφάλαιο αυτό καθώς και το επόμενο, προσφέρονται ως πλαίσιο συζήτησης σχετικά με την εξέλιξη της επιστήμης. Οι επόμενες πληροφορίες μπορούν να χρησιμεύσουν ως έναυσμα μιας τέτοιας συζήτησης:

- Στα τέλη του 19ου αιώνα οι μεγάλοι φυσικοί απέτρεπαν τους μαθητές τους να ασχολούνται με τη φυσική. Πίστευαν ότι όλα τα βασικά προβλήματα είχαν λυθεί....
- Η άνθηση της μοντέρνας φυσικής στις αρχές του 20ού αιώνα τοποθετείται γεωγραφικά στη Δυτική και Κεντρική Ευρώπη και συμπίπτει με την πρωτοφανή άνθηση των ριζοσπαστικών ρευμάτων στην Τέχνη.
- Όπως πιστεύουν πολλοί, οι δυο παγκόσμιοι πόλεμοι στη διάρκεια του 20ού αιώνα συνέβαλαν αποφασιστικά στην πρόοδο της επιστήμης.
- Οι θεωρίες του Einstein δεν ξεπήδησαν μέσα από ένα ακαδημαϊκό περιβάλλον αλλά από ένα γραφείο ευρεσιτεχνιών...

Πλούσια πηγή πληροφοριών μπορεί να αποτελέσει η δίτομη ιστορία της φυσικής του Emilio Segre (εκδόσεις Δίαυλος)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΒΑΝΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Στόχοι

Σύμφωνα με το πρόγραμμα σπουδών, με τη διδασκαλία αυτού του κεφαλαίου επιδιώκεται να μπορεί ο μαθητής:

- Να διακρίνει ότι στην κβαντομηχανική η κατάσταση ενός σωματιδίου περιγράφεται από τη συνάρτηση *Schrödinger* και όχι από το ζεύγος ταχύτητα – ορμή της κλασικής μηχανικής.
- Να διατυπώνει με λόγια και με τύπους τη μονοδιάστατη εξίσωση του *Schrödinger* με σταθερό δυναμικό στην ανεξάρτητη από το χρόνο μορφή της.
- Να εφαρμόζει τις λύσεις της εξίσωσης *Schrödinger* σε απλό πηγάδι δυναμικού και να παραγάγει τις ενεργειακές στάθμες ως συνέπεια των οριακών συνθηκών.
- Να περιγράφει ποιοτικά την αρχή της αβεβαιότητας και να αναφέρει τις συνέπειές της.
- Να διατυπώνει με λόγια και με τύπους την πιθανότητα να βρεθεί ένα σωματίο σε μια θέση του πηγαδιού και να παράγει το φαινόμενο σήραγγας.
- Να διακρίνει ότι οι κυματικές ιδιότητες των σωματιδίων οφείλονται στην αναλογία της εξίσωσης *Schrödinger* με την εξίσωση κύματος και όχι σε κάποια κυματική υπόσταση του σωματιδίου.
- Να συνδέει την ενέργεια και την ορμή ενός φωτονίου με τη συχνότητα και το μήκος κύματος του φωτός, αντίστοιχα.
- Να περιγράφει ποσοτικά το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και ποιοτικά την ακτινοβολία του μέλανος σώματος.

Ειδικότερα, κατά τη δική μας γνώμη, μετά τη διδασκαλία αυτού του κεφαλαίου ο μαθητής πρέπει:

- Να κατανοήσει την έννοια του μέλανος σώματος.
- Να διακρίνει τα μεγέθη που είναι κβαντισμένα από αυτά που είναι συνεχή.
- Να κατανοήσει ότι η κβαντική θεωρία ερμηνεύει φαινόμενα του μικρόκοσμου τα οποία αδυνατεί να εξηγήσει η κλασική φυσική.
- Να αντιλαμβάνεται ότι το φως μεταφέρει ενέργεια.
- Να συσχετίζει την ορμή και την ενέργεια του φωτονίου με τη συχνότητά του.

- Να περιγράφει ποιοτικά το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και να διακρίνει τις δυσκολίες που αντιμετώπισε η κλασική φυσική για την ερμηνεία του.
- Να γράφει τη φωτοηλεκτρική εξίσωση του Einstein και να τη συνδέει με την αρχή διατήρησης της ενέργειας.
- Να διατυπώνει την αρχή της αβεβαιότητας.
- Να διακρίνει τα φαινόμενα (φωτοηλεκτρικό - σκέδαση Compton) στα οποία εκδηλώνεται η σωματιδιακή φύση του φωτός.
- Να περιγράφει φαινόμενα στα οποία εκδηλώνονται οι κυματικές ιδιότητες της ύλης.
- Να αντιλαμβάνεται τη σημασία του φαινομένου σήραγγας και να γνωρίζει εφαρμογές του

Πίνακας προτεινόμενων ασκήσεων- προβλημάτων

<i>Ενότητα</i>	<i>Προτεινόμενες ασκήσεις</i>	<i>Προτεινόμενα προβλήματα</i>
1. Η ακτινοβολία του μέλανος σώματος		
2. Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο Η σκέδαση Compton	7.18, 7.19, 7.20, 7.29	
3. Η κυματική φύση της ύλης Η αρχή της αβεβαιότητας Η εξίσωση του Schrödinger	7.30,7.33,7.34	
4. Σωματίδιο παγιδευμένο σε “πηγάδι δυναμικού”		
5. Το φαινόμενο σήραγγας		

Ενότητα 1

Η ακτινοβολία του μέλανος σώματος

α. Το «μέλαν σώμα» απορροφά την ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτό σε όλα τα μήκη κύματός της. Ιδανικό «μέλαν σώμα» δεν υπάρχει. Ωστόσο, στην πράξη, ένα σώμα του οποίου έχουμε αιθαλώσει την επιφάνεια θεωρείται μέλαν.

Ως μέλαν σώμα μπορούμε επίσης να θεωρήσουμε ένα κλίβανο το άνοιγμα του οποίου έχει μικρές διαστάσεις.

β. Ο όρος «ένταση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας» που χρησιμοποιήσαμε αποδίδει αυτό που, παλαιότερα, απέδιδαν οι όροι «αφετική ικανότητα» ή «ικανότητα εκπομπής ενός σώματος».

γ. Οι καμπύλες του σχήματος 7.1 δείχνουν με ποιο τρόπο κατανέμεται στα διάφορα μήκη κύματος η εκπεμπόμενη από το σώμα ένταση. Η μορφή των καμπυλών υποδηλώνει ότι η εκπεμπόμενη ένταση δεν κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλη την έκταση του φάσματος. Η καμπύλη παρουσιάζει μέγιστο για ορισμένο μήκος κύματος (το συμβολίζουμε με λ_{\max}).

Το εμβαδόν του σχήματος που περικλείεται από την καμπύλη και τον οριζόντιο άξονα (άξονα των μηκών κύματος) δείχνει τη συνολική ένταση της ακτινοβολίας που εκπέμπει το σώμα σε ορισμένη θερμοκρασία. Η ένταση αυτή είναι ανάλογη με την τετάρτη δύναμη της (απόλυτης) θερμοκρασίας του σώματος (νόμος των Stefan- Boltzmann).

Όπως φαίνεται στο σχήμα, ένα πολύ μικρό μέρος της ακτινοβολίας αντιστοιχεί στην ορατή περιοχή του φάσματος ($400\text{nm} < \lambda < 800\text{nm}$) ενώ το μεγάλο μέρος της αντιστοιχεί στην υπέρυθρη ακτινοβολία.

δ. Το μέλαν σώμα δίνει συνεχές φάσμα εκπομπής, (το μέλαν σώμα ορίζεται εξάλλου και ως το σώμα που εκπέμπει και απορροφά ακτινοβολία σε όλα τα μήκη κύματος).

Συνεχή είναι και τα φάσματα εκπομπής όλων των στερεών σωμάτων, δεδομένου ότι τα ταλαντούμενα άτομα βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους και αλληλοεπηρεάζονται.

Από τη μορφή του φάσματος εκπομπής εξάγονται συμπεράσματα για τη θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται η ακτινοβολούσα επιφάνεια

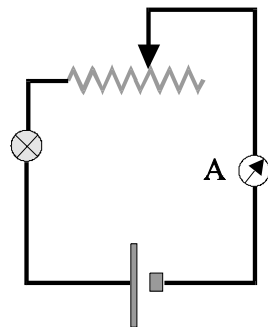
Ενδεικτικά αναφέρονται οι θερμοκρασίες της επιφάνειας ορισμένων άστρων και τα αντίστοιχα μήκη κύματος στα οποία αντιστοιχεί το μέγιστο της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας.

Αστρο	λ_{max}	χρώμα	θερμοκρασία επιφάνειας
Σείριος	240 nm	μπλε- άσπρο	12.000 K
Ήλιος	500 nm	κίτρινο	6.800 K
Βετελέζης	850 nm	κόκκινο	3.400 K

Παρόλο που η θερμοκρασία της επιφάνειας των άστρων ποικίλει, ο μέσος παρατηρητής δεν αντιλαμβάνεται τα διαφορετικά χρώματά τους, γιατί ο αμφιβληστροειδής χιτώνας του ματιού, που είναι υπεύθυνος για τη χρωματική όραση, δεν αντιδρά στο αμυδρό φως. Αν συνέβαινε αυτό ο ουρανός τη νύχτα θα μας φαινόταν έγχρωμος.

ε. Τη μετατόπιση του φάσματος προς τα μικρότερα μήκη κύματος, όταν μεγαλώνει η θερμοκρασία τους, μπορούμε να τη δείξουμε – ποιοτικά – με τη βοήθεια ενός λαμπτήρα πυρακτώσεως που τροφοδοτείται μέσω ροοστάτη

Καθώς, με τη βοήθεια του ροοστάτη, αυξάνουμε την τιμή του ρεύματος που διαρρέει το λαμπτήρα- επομένως και τη θερμοκρασία του νήματος του λαμπτήρα- παρατηρούμε ότι το νήμα φαίνεται αρχικά κόκκινο και στη συνέχεια λευκοπυρωμένο. Αυτό δείχνει ότι το φως που εκπέμπει περιέχει μεγαλύτερο ποσοστό των υπόλοιπων συχνοτήτων του ορατού φάσματος



στ. Στην ενότητα αυτή αντιστοιχεί η διαφάνεια

Γ-7.1 Η κατανομή της έντασης της ακτινοβολίας του μέλανος σώματος για διάφορες τιμές της θερμοκρασίας του.

Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο - Η σκέδαση Compton.

α. Τα δυο φαινόμενα αναφέρονται ενιαία γιατί ανήκουν σε μια κατηγορία φαινομένων που αφορούν στην αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με την ύλη και αποδεικνύουν το σωματιδιακό της χαρακτήρα.

Η κβάντωση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, όπως την είχε προτείνει ο Planck περιοριζόταν στις ενεργειακές ανταλλαγές ύλης και ακτινοβολίας. Κατά τον Planck το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο είχε τον κλασικό συνεχή χαρακτήρα του. Ο Einstein διακήρυξε ότι η κβάντωση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου είναι εγγενής ιδιότητά του.

Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο δεν είναι το μοναδικό φαινόμενο που αποδεικνύει την κβάντωση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Οι υπεριώδεις ακτίνες μάς μαυρίζουν. Ενεργοποιούν κάποιες χημικές αντιδράσεις. Οι αντιδράσεις όμως αυτές ενεργοποιούνται μόνο όταν η συχνότητα της ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη από κάποια τιμή. Αν η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είχε συνεχή χαρακτήρα, όπως δέχεται η κλασική θεωρία, η απαιτούμενη ενέργεια θα μπορούσε να απορροφηθεί σιγά – σιγά και η χημική αντίδραση θα συνέβαινε ανεξάρτητα από τη συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Σύμφωνα με την κλασική θεωρία, ακόμα και τα ραδιοφωνικά κύματα έπρεπε να έχουν μια τέτοια δράση. Δηλαδή αν στεκόμαστε δίπλα σε μια ραδιοφωνική κεραία εκπομπής (όπου η ένταση της ακτινοβολίας είναι μεγάλη) θα έπρεπε να μαυρίζουμε. Το γεγονός ότι τέτοια φαινόμενα δεν συμβαίνουν αποδεικνύει το κβαντικό χαρακτήρα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Χωρίς την κβάντωση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας τα ηλεκτρόνια των ατόμων θα απορροφούσαν συνεχώς ενέργεια από το φως με αποτέλεσμα κάποια στιγμή αναπόφευκτα να δραπετεύουν από την έλξη του πυρήνα. Η συγκρότηση της ύλης σε άτομα και μόρια θα ήταν αδύνατη.

Ο ασυνεχής σωματιδιακός χαρακτήρας της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας έχει ανιχνεύσιμες επιπτώσεις μόνο στην περιοχή των μεγάλων συχνοτήτων. Μόνο εκεί η ενέργεια ενός φωτονίου είναι αρκετά μεγάλη ώστε η δράση του να έχει συνέπειες που μπορούν να ανιχνευτούν. Στις χαμηλές συχνότητες όπως για παράδειγμα στα ραδιοκύματα, ο σωματιδιακός χαρακτήρας είναι ανεπαίσθητος. Αυτό εξηγεί γιατί στις τηλεπικοινωνίες συνεχίζουμε να εργαζόμαστε σύμφωνα με την κλασική θεωρία.

β. Στο εμπόριο, ο όρος «φωτοκύτταρο» περιλαμβάνει όλες τις διατάξεις με τη βοήθεια των οποίων μπορούμε να μεταφράσουμε τις αυξομειώσεις της

φωτεινής ροής σε αυξομειώσεις της έντασης του ρεύματος και είναι συνήθως διατάξεις στερεάς κατάστασης (φωτοστοιχεία ή φωτοαντιστάσεις). Στην ενότητα αυτή ο όρος αποδίδεται αυστηρά σε διάταξη κενού.

γ. Πρέπει να τονιστεί ότι το φωτοκύτταρο δεν είναι ηλεκτρική πηγή, όπως είναι τα φωτοστοιχεία.

δ. Οι μαθητές πρέπει να κατανοήσουν τα προβλήματα που ανέκυψαν όταν επιχειρήθηκε η ερμηνεία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου και του φαινομένου Compton με την κλασική φυσική.

ε. Στην ενότητα αυτή αντιστοιχούν οι διαφάνειες

Γ-7.2 Σχηματική παράσταση κυκλώματος φωτοκύτταρου.

Γ-7.3 Σχηματική παράσταση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου.

Γ-7.4 Σχηματική παράσταση της σκέδασης Compton.

Ενότητα 3

Η κυματική φύση της ύλης - Η αρχή της αβεβαιότητας

Η εξίσωση του Schrödinger

α. Η εξίσωση του Schrödinger παρατίθεται περισσότερο για ιστορικούς λόγους και λόγους διδακτικής συνέχειας. Το επίπεδο των μαθηματικών της Γ' Λυκείου δεν επιτρέπει τη χρήση της για την εύρεση της κυματοσυνάρτησης.

β. Η κβαντική φυσική, ως θεωρία η οποία περιγράφει τα φαινόμενα του μικρόκοσμου, δημιούργησε και εξακολουθεί να δημιουργεί σοβαρές συζητήσεις γύρω από το εννοιολογικό της πλαίσιο και την ερμηνεία της. Είναι θεωρία ριζοσπαστική, πιο επαναστατική κι από τη θεωρία της γενικής σχετικότητας του Einstein. Διαφέρει ριζικά από τις ιδέες της κλασικής φυσικής. Τα πλαίσια των ιδεών τους δεν συγκλίνουν και δεν επικαλύπτονται.

γ. Στο πλαίσιο των ιδεών και των νόμων της κλασικής φυσικής κανείς δε μπορεί να νοήσει ένα δυναμικό σύστημα (ένα φωτόνιο λ.χ) να βρίσκεται μερικώς σε κάθε μία από τις δυο καταστάσεις, δηλαδή να βρίσκεται ταυτόχρονα και στις δυο καταστάσεις και να περνάει σε μια μοναδική κατάσταση, μετά από τη διαδικασία της παρατήρησης. Δηλαδή, ότι η παρατήρηση, αυτή καθαυτή, αναγκάζει το σύστημα να περάσει σε μια και μόνο κατάσταση.

Μια σημαντική διαφορά ανάμεσα στην κβαντική και την κλασική φυσική σχετίζεται με το «νόμο» της αιτιότητας και το ντετερμινισμό. Ο

ντετερμινισμός ισχύει αυστηρά στο πλαίσιο των νόμων και των ιδεών της κλασικής φυσικής και σημαίνει ότι μπορούμε να προσδιορίσουμε πλήρως τη μελλοντική κατάσταση ενός δυναμικού συστήματος, αν γνωρίζουμε μέσα σε μια δεδομένη χρονική στιγμή τις αριθμητικές τιμές των συντεταγμένων και των ταχυτήτων από τα οποία αποτελείται το δυναμικό σύστημα (Laplace).

Γίνεται αμέσως κατανοητό ότι πίσω από τον αυστηρό αυτό προσδιορισμό της πλήρους μελλοντικής κίνησης υπάρχει η έννοια της τροχιάς, όπως αυτή ορίζεται κλασικά.

Στην κβαντομηχανική, η αρχή της απροσδιοριστίας του Heisenberg, σύμφωνα με την οποία δεν είναι δυνατό να προσδιορίσουμε με ακρίβεια τη θέση και την ταχύτητα (ορμή) ενός συστήματος, αποκλείει την έννοια του ντετερμινισμού.

Κατά την παρατήρηση γεγονότων του μικρόκοσμου υπεισέρχεται πάντοτε μια αναπόφευκτη απροσδιοριστία λόγω της διαταραχής την οποία υφίσταται το παρατηρούμενο σύστημα. Η θεωρία που διέπει την κβαντομηχανική μάς επιτρέπει να υπολογίσουμε μόνο την πιθανότητα να προκύψει κάποιο ιδιαίτερο ή συγκεκριμένο αποτέλεσμα όταν παρατηρούμε ένα ατομικό δυναμικό σύστημα.

δ. Η σύγχρονη κβαντική θεωρία είναι δυσνόητη για τους περισσότερους ανθρώπους και - τουλάχιστον σε πρώτη ανάγνωση - δίνει την αίσθηση της ασάφειας. Εντούτοις είναι μια από τις θεωρίες με την πιο αυστηρή πειραματική θεμελίωση και με ευρύτατο φάσμα εφαρμογών. Σήμερα, σε αντίθεση με τις θεωρίες της σχετικότητας, που δεν επηρεάζουν την καθημερινή ζωή μας, η κβαντική φυσική είναι παρούσα σε πολλές εφαρμογές που σχετίζονται με την καθημερινή μας ζωή.

ε. Στην ενότητα αυτή αντιστοιχούν οι διαφάνειες:

Γ-7.5 Με την υπέρθεση δύο κυμάτων με πολύ μικρή διαφορά στη συχνότητά τους (α) παίρνουμε το διακρότημα (β).

Γ-7.6 Κυματοπακέτο με περιορισμένη αβεβαιότητα Δx ως προς το χώρο. Το κυματοπακέτο μπορεί να δημιουργηθεί από την επαλληλία πολλών κυμάτων.

Γ-7.7 (α) Διάταξη δημιουργίας πηγαιδιού δυναμικού. (β) Το πηγάδι δυναμικού.

Γ-7.8 Ηλεκτρόνιο παγιδευμένο σε πηγάδι δυναμικού. (α) Γραφική παράσταση τη κυματοσυνάρτησης για τους τρεις πρώτους κβαντικούς αριθμούς. (β) Οι αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις της $|\Psi(x)|^2$ (γ) Οι αντίστοιχες ενεργειακές στάθμες του ηλεκτρονίου.

Γ-7.9 Ηλεκτρόνιο μέσα σε πηγάδι δυναμικού πεπερασμένου βάθους.

- (α) Γραφικές παραστάσεις της κυματοσυνάρτησης για τους τρεις πρώτους κβαντικούς αριθμούς. (β) Οι αντίστοιχες ενεργειακές στάθμες του ηλεκτρονίου. (γ) Οι αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις της $|\Psi(x)|^2$.

Γ-7.10 Το φαινόμενο σήραγγας.

Μερικά σχόλια στην εργαστηριακή άσκηση :

Από τις υποχρεωτικές ασκήσεις του προγράμματος, στο κεφάλαιο αυτό αντιστοιχεί η άσκηση: «Μελέτη φωτοηλεκτρικού φαινομένου- Υπολογισμός του έργου εξαγωγής».

Πρόκειται για άσκηση η οποία δίνει μετρήσεις που αποκλίνουν αισθητά από τις τιμές που παίρνουμε από τη βιβλιογραφία.

Σήμερα, στις εφαρμογές τα φωτοκύτταρα έχουν υποκατασταθεί με διατάξεις στερεάς κατάστασης - στο εμπόριο όλες περιγράφονται ως φωτοκύτταρα - και έτσι είναι δύσκολο να προμηθευτεί κανείς φωτοκύτταρο.

Στην άσκηση που πραγματοποιήσαμε χρησιμοποιήθηκε φωτοκύτταρο που αγοράσαμε από παλαιοπωλείο, κάτι που μας στέρησε τη δυνατότητα να γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά του.

Επιπλέον δυσκολία συνιστά το γεγονός ότι είναι δύσκολο να βρει κανείς φωτεινές μονοχρωματικές πηγές. Τα φίλτρα που χρησιμοποιούμε δίνουν φως μέσα σε μια περιοχή συχνοτήτων.

Τέλος, το πείραμα πρέπει να γίνει στο σκοτάδι, κάτι που είναι πρακτικά αδύνατο να επιτύχουμε στο σχολικό εργαστήριο.

Με το πείραμα επιδιώκεται να συσχετίσουν οι μαθητές το ρεύμα που δίνει το φωτοκύτταρο με την ένταση της προσπίπτουσας δέσμης (για ορισμένη τιμή της τάσης και για την ίδια συχνότητας) καθώς και με την ανοδική τάση - για ορισμένη συχνότητα και ορισμένη τιμή της έντασης της ακτινοβολίας. Επιδιώκεται επίσης να προσδιορίσουν την τιμή της τάσης αποκοπής για διάφορες τιμές της συχνότητας της ακτινοβολίας.

Από τη γραφική παράσταση της σχέσης $V_a - f$ υπολογίζεται η τιμή της σταθεράς του Planck και το έργο εξαγωγής για το υλικό της φωτοκαθόδου.

Στις ερωτήσεις της ενότητας «ελέγξτε τις γνώσεις σας» ζητείται από τους μαθητές:

- i. να αναφέρουν ποια μορφή ενέργειας μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια όταν το φωτοκύτταρο συνδέεται κατευθείαν στο μιλιαμπερόμετρο, χωρίς να παρεμβάλλεται ηλεκτρική πηγή, και

- ii. να επιλέξουν μία από τις ακραίες τιμές στην περιοχή συχνοτήτων που αναφέρονται στα φίλτρα για τη χάραξη της καμπύλης $V_a - f$.

Η απάντηση στην πρώτη ερώτηση είναι απλή: Μερικά από τα ηλεκτρόνια που βγαίνουν από την φωτοκάθοδο, όταν φωτίζεται, έχουν ικανή κινητική ενέργεια, ώστε, παρότι δεν υπάρχει πεδίο μεταξύ ανόδου - καθόδου φτάνουν στην άνοδο. Επομένως η ηλεκτρική ενέργεια που παίρνουμε προέκυψε από την ενέργεια των φωτονίων που πέφτουν στην κάθοδο του φωτοκυττάρου.

Το δεύτερο ερώτημα τέθηκε για να σκεφτούν οι μαθητές ότι η τάση αποκοπής είναι αυτή στην οποία κανένα από τα ηλεκτρόνια που βγαίνουν από την κάθοδο - και αυτά που έχουν τη μεγαλύτερη κινητική ενέργεια - δε θα μπορέσει να φτάσει στην άνοδο. Αυτά τα ηλεκτρόνια αντιστοιχούν στη μεγαλύτερη τιμή της συχνότητας.

Στην πραγματικότητα όμως η απάντηση είναι πιο πολύπλοκη και απαιτεί τη γνώση των χαρακτηριστικών του φίλτρου.