

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ**

**ΠΜΣ: «Νέες Τεχνολογίες και Έρευνα στη Διδακτική της
Φυσικής»**

Διπλωματική Εργασία

της

ΕΛΛΗΣ ΒΑΛΗ

**«Μελέτη των αντιλήψεων των φοιτητών του Τμήματος
Φυσικής για τα μηχανικά κύματα»**

Επιβλέπων κ. Ιωάννης Ρίζος

Ιούνιος 2011



ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ



026000321467



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ

ΠΜΣ: «Νέες Τεχνολογίες και Έρευνα στη Διδακτική της
Φυσικής»

Διπλωματική Εργασία

της

ΕΛΛΗΣ ΒΑΛΗ

«Μελέτη των αντιλήψεων των φοιτητών του Τμήματος
Φυσικής για τα μηχανικά κύματα»

Επιβλέπων κ. Ιωάννης Ρίζος

Ιούνιος 2011



Ευχαριστίες

Σ' αυτή τη σελίδα αξίζει να εκφράσω θερμές ευχαριστίες:

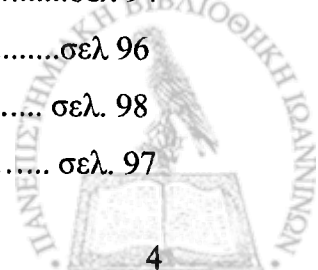
- Στον κ. Ιωάννη Ρίζο επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας, για την πολύτιμη συμπαράσταση και τεχνική καθοδήγηση.
- Στους καθηγητές κ. Ευάγγελο Μάνεση και κ. Κωνσταντίνο Κώτση μέλη της τριμελούς επιτροπής, για την επιστημονική τεκμηρίωση της εργασίας.
- Στους καθηγητές κ. Ιωάννη Φίλη και κ. Ανδρέα Λύρα για την τεχνική υποστήριξη.
- Στους φοιτητές του μαθήματος Κυμάνσεις χειμερινού εξαμήνου 2007 για τη συμμετοχή τους.
- Στους φίλους και συμφοιτητές για τις εποικοδομητικές συζητήσεις, στη φίλη μου Όλγα για τη βοήθειά της και στην οικογένεια μου για την υποστήριξη.

Πρόλογος

Η παρούσα εργασία συγγράφηκε στο πλαίσιο του μεταπτυχιακού προγράμματος «Νέες Τεχνολογίες και Έρευνα στη Διδακτική της Φυσικής», του τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Σ' αυτήν αναλύονται οι αντιλήψεις δευτεροετών φοιτητών του τμήματος φυσικής στα μηχανικά κύματα. Η έρευνα έλαβε χώρα στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων το χειμερινό εξάμηνο του 2007.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζονται οι αρχές και οι νόμοι που διέπουν την κυματική φυσική. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε προηγούμενες έρευνες με το ίδιο αντικείμενο καθώς και στα ευρήματά τους. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται διεξοδικά και αναλύεται η παρούσα έρευνα. Στην αρχή γίνεται αναφορά στο δείγμα και στο ερωτηματολόγιο που χρησιμοποιήθηκε και στη συνέχεια λαμβάνει χώρα η καταγραφή και η ανάλυση όλων των απαντήσεων των φοιτητών. Τέλος στο τελευταίο κεφάλαιο ανακεφαλαιώνονται τα ευρήματα και τα συμπεράσματα.

Περιεχόμενα	
Ευχαριστίες.....	σελ. 2
Πρόλογος.....	σελ. 3
Περιεχόμενα.....	σελ. 4
Κεφάλαιο 1: Κυματική Φυσική	
Ενότητα 1.1: Εισαγωγή.....	σελ. 5
Ενότητα 1.2: Μηχανικά Κύματα.....	σελ. 5
Ενότητα 1.3: Μαθηματική περιγραφή του κύματος	σελ. 7
Ενότητα 1.4: Ταχύτητα εγκάρσιου κύματος	σελ. 8
Ενότητα 1.5: Ταχύτητα διαμήκους κύματος	σελ. 10
Ενότητα 1.6: Συμβολή κυμάτων	σελ. 12
Κεφάλαιο 2: Ανασκόπηση προηγούμενων ερευνών	
Ενότητα 2.1: Εισαγωγή	σελ. 13
Ενότητα 2.2: Προηγούμενες έρευνες.....	σελ. 13
Ενότητα 2.3: Το Μοντέλο του «Σωματιδιακού Παλμού».....	σελ. 29
Κεφάλαιο 3: Έρευνα	
Ενότητα 3.1: Εισαγωγή	σελ. 32
Ενότητα 3.2: Δείγμα	σελ. 33
Ενότητα 3.3: Το ερωτηματολόγιο	σελ. 33
Ενότητα 3.4: Κατηγοριοποίηση των απαντήσεων	σελ. 34
Ενότητα 3.5: Ανάλυση των ερωτήσεων	σελ. 43
Ενότητα 3.6: Πρώτη ερώτηση	σελ. 43
Ενότητα 3.7: Τρίτη ερώτηση	σελ. 50
Ενότητα 3.8: Δεύτερη ερώτηση	σελ. 57
Ενότητα 3.9: Τέταρτη ερώτηση	σελ. 64
Ενότητα 3.10: Πέμπτη ερώτηση	σελ. 71
Ενότητα 3.11: Έκτη ερώτηση	σελ. 75
Ενότητα 3.12: Έβδομη ερώτηση	σελ. 86
Κεφάλαιο 4: Γενικά συμπεράσματα και προτάσεις	
Ενότητα 4.1: Εισαγωγή.....	σελ. 92
Ενότητα 4.2: Παρανοήσεις.....	σελ. 92
Ενότητα 4.3: Επικοδομισμός.....	σελ. 94
Ενότητα 4.4: Η συμβολή του υπολογιστή.....	σελ. 96
Βιβλιογραφία.....	σελ. 98
Παράρτημα.....	σελ. 97



Κεφάλαιο 1: Κυματική Φυσική

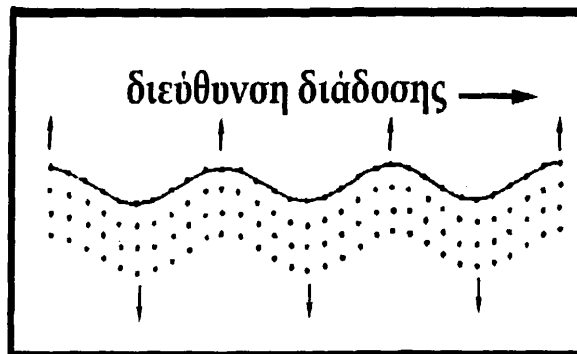
1.1 Εισαγωγή

Γενικά κύμα είναι οποιαδήποτε διαταραχή στην κατάσταση ισορροπίας, η οποία ταξιδεύει ή διαδίδεται, από μια περιοχή του χώρου σε μία άλλη με πεπερασμένη ταχύτητα^{[17],[18],[19],[20]}. Τα μηχανικά κύματα διαδίδονται πάντοτε σε κάποιο υλικό που ονομάζεται μέσο. Αυτού του είδους τα κύματα χρειάζονται ένα αίτιο, δηλαδή μια πηγή διαταραχής, ένα μέσο που μπορεί να διαταραχθεί και έναν φυσικό μηχανισμό με τον οποίο κάθε ελάχιστο τμήμα του μέσου θα μπορεί να επικοινωνεί με τα διπλανά του. Η ταχύτητα διάδοσης, δηλαδή η ταχύτητα του κύματος, σε ένα μέσο εξαρτάται από τις ελαστικές και αδρανειακές ιδιότητες του μέσου.

1.2 Μηχανικά Κύματα

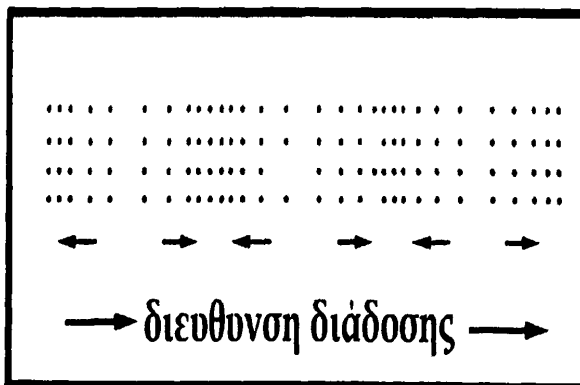
Καθώς το κύμα διαδίδεται μέσα στο μέσο, τα σωμάτια που απαρτίζουν το μέσο υφίστανται μετατοπίσεις διαφόρων ειδών, που εξαρτώνται από τη φύση του κύματος.

Όταν οι μετατοπίσεις του μέσου είναι κάθετες (εγκάρσιες) προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος κατά μήκος του μέσου, το κύμα ονομάζεται εγκάρσιο (Σχήμα 1.2.1).



Σχήμα 1.2.1

Σχήμα 1.2.2



Όταν οι κινήσεις των σωματίων του μέσου είναι κατά την ίδια διεύθυνση στην οποία οδεύει το κύμα, τότε το κύμα ονομάζεται διάμηκες (Σχήμα 1.2.2).

Καθώς το κύμα διαδίδεται, το ίδιο το μέσο δεν ταξιδεύει στο χώρο. Τα επιμέρους σωμάτια κινούνται μπρος-πίσω ή πάνω-κάτω γύρω από τις θέσεις ισορροπίας τους. Η μορφή της κυματικής διαταραχής είναι αυτή που ταξιδεύει. Επίσης κατά την κυματική κίνηση υπάρχει μεταφορά ενέργειας. Αυτή η ενέργεια δόθηκε στο σύστημα με την παραγωγή μηχανικού έργου για να τεθεί το σύστημα σε κίνηση. Τα κύματα λοιπόν μεταφέρουν ενέργεια, αλλά όχι ύλη, από μία περιοχή του χώρου σε μία άλλη.

Μία κίνηση η οποία επαναλαμβάνεται σε κανονικά χρονικά διαστήματα ονομάζεται *περιοδική κίνηση* ή *ταλάντωση*. Κάθε περιοδική κίνηση περιγράφεται από τη *συχνότητα*, την *περίοδο* και το *πλάτος* της. Η απλούστερη περιοδική κίνηση είναι η *απλή αρμονική*. Αυτή παρουσιάζεται όταν η δύναμη επαναφοράς σε ένα σώμα είναι ανάλογη της μετατόπισης από τη θέση ισορροπίας του.

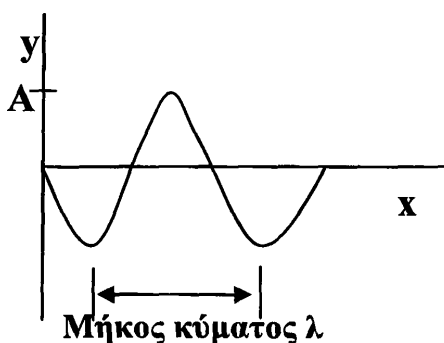
Όταν κατά τη διάδοση ενός κύματος σε ένα μέσο η κίνηση κάθε σημείου του μέσου είναι περιοδική τότε το κύμα ονομάζεται *περιοδικό*. Όταν η κίνηση είναι ημιτονοειδής τότε το κύμα ονομάζεται *ημιτονοειδές*. Για ένα περιοδικό κύμα, το μήκος ενός πλήρους κυματικού σχήματος είναι η απόσταση μεταξύ δύο σημείων σε αντίστοιχες θέσεις δύο διαδοχικών επαναλήψεων της κυματομορφής. Αυτό το ονομάζουμε *μήκος κύματος* και το συμβολίζουμε με λ . Η κυματομορφή οδεύει με σταθερή ταχύτητα v και προχωρεί απόσταση ίση με ένα μήκος κύματος λ σε χρονικό διάστημα μίας περιόδου T . Έτσι η ταχύτητα διάδοσης κύματος v δίνεται από τη σχέση $v = \lambda/T$ ή επειδή $f = 1/T$, $v = \lambda f$. Όπου η *συχνότητα* f ενός αρμονικού κύματος ισούται με τον αριθμό των κορυφών που θα περάσουν από ένα σταθερό σημείο σε ένα δευτερόλεπτο.

1.3 Μαθηματική περιγραφή του κύματος

Η συνάρτηση η οποία περιγράφει τη θέση οπουδήποτε σωματίου του μέσου κάθε χρονική στιγμή κατά τη διάδοση ενός κύματος ονομάζεται κυματοσυνάρτηση.

Πιο συγκεκριμένα θα γίνει αναφορά στα ημιτονοειδή κύματα, στα οποία κάθε σωματίο εκτελεί απλή αρμονική κίνηση περί τη θέση ισορροπίας του (Σχήμα 1.3.1).

Σχήμα 1.3.1



Εξετάζουμε το παράδειγμα κυμάτων σε τεντωμένη χορδή. Η θέση ισορροπίας της χορδής είναι κατά μήκος ευθείας γραμμής. Αυτή η ευθεία θεωρείται ότι είναι ο άξονας x ενός συστήματος συντεταγμένων. Η γενική μορφή αρμονικού κύματος δίνεται από τη σχέση: $y = A \sin(kx - \omega t - \phi)$. Όπου y είναι η εγκάρσια μετατόπιση της διαταραχής. Αυτή η μετατόπιση είναι συνάρτηση και της θέσης x του σημείου και του χρόνου t . Το A είναι σταθερά, ονομάζεται πλάτος του κύματος και αντιπροσωπεύει τη μέγιστη μετατόπιση της διαταραχής. Η σταθερά λ είναι το μήκος κύματος της διαταραχής. Το k ονομάζεται κυματικός αριθμός και το ω κυκλική συχνότητα και ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις: $k = 2\pi / \lambda$ και $\omega = 2\pi / T$. Η σταθερά φάσης συμβολίζεται με ϕ και προσδιορίζεται από τις αρχικές συνθήκες.

Παραγωγίζοντας την κυματοσυνάρτηση δύο φορές ως προς x και t προκύπτει η

εξίσωση: $\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$ η οποία λέγεται κυματική εξίσωση. Οποτεδήποτε

παρουσιάζεται, γνωρίζουμε ότι η διαταραχή που περιγράφεται από τη συνάρτηση y διαδίδεται ως κύμα κατά μήκος του άξονα x με ταχύτητα κύματος v . Η σχέση αυτή περιγράφει τα διάφορα είδη κυμάτων που διαδίδονται σε διάφορα μέσα χωρίς διασπορά.

Για τα κύματα που διαδίδονται σε νήματα το y όπως είπαμε είναι η εγκάρσια μετατόπιση. Για τα ηχητικά κύματα περιγράφει τις μεταβολές της πίεσης ή της πυκνότητας ενός αερίου και η μετατόπιση είναι παράλληλη προς τον άξονα x και όχι κάθετη προς αυτόν.

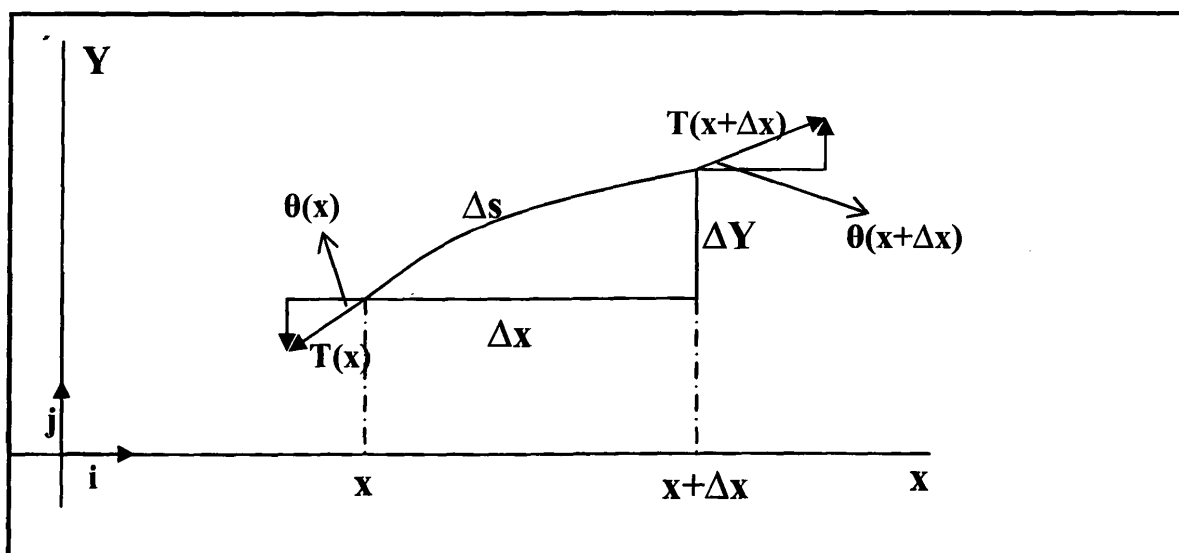


1.4 Ταχύτητα εγκάρσιου κύματος

Θεωρούμε μία τελείως εύκαμπτη χορδή. Στη θέση ισορροπίας η τάση είναι T και η γραμμική πυκνότητα μάζας (μάζα ανά μονάδα μήκους) είναι μ . Τη στιγμή $t=0$ εφαρμόζουμε μία σταθερή εγκάρσια δύναμη στο αριστερό άκρο της χορδής η οποία θέτει διαδοχικά όλο και περισσότερη μάζα σε κίνηση. Το αποτέλεσμα είναι ένας μία «παραμόρφωση» που ταξιδεύει κατά μήκος της χορδής. Το κύμα ταξιδεύει με σταθερή ταχύτητα και το σημείο διαχωρισμού μεταξύ κινούμενου και μη κινούμενου τμήματος χορδής κινείται κι αυτό με σταθερή ταχύτητα v . Η μηχανική τάση στη χορδή την επαναφέρει στην ευθύγραμμη μορφή της μόλις το κύμα περάσει.

Ας θεωρήσουμε την κίνηση ενός στοιχείου της χορδής μήκους Δs , που φαίνεται στο παραπάνω σχήμα 1.4.1. Οι δυνάμεις που ασκούνται πάνω σ' αυτό το στοιχείο και οφείλονται στην υπόλοιπη χορδή δίνονται από τις τάσεις, όπως φαίνεται στο σχήμα, με μέτρα $T(x)$ και $T(x+\Delta x)$ στα άκρα x και $x+\Delta x$ του στοιχείου.

Σχήμα 1.4.1



Η συνολική οριζόντια δύναμη κατά την κατεύθυνση i που ασκείται πάνω στο στοιχείο είναι: $[T(x+\Delta x) \cdot \cos \theta(x+\Delta x) - T(x) \cdot \cos \theta(x)]i$ (1). Η συνολική εγκάρσια δύναμη κατά την κατεύθυνση j που ασκείται πάνω στο στοιχείο είναι: $[T(x+\Delta x) \cdot \sin \theta(x+\Delta x) - T(x) \cdot \sin \theta(x)]j$ (2)

Αν υποθέσουμε ότι η οριζόντια κίνηση κατά την κατεύθυνση i είναι αμελητέα τότε η συνολική δύναμη (1) είναι μηδέν. Χρησιμοποιώντας το γεγονός ότι η επιτάχυνση

του στοιχείου είναι $\partial^2 Y / \partial t^2$ περίπου κι ότι η μάζα του είναι $\mu \Delta s$, όπου μ είναι η μάζα ανά μονάδα μήκους, από τη (2) και το Δεύτερο Νόμο του Νεύτωνα έχουμε:

$$\mu \cdot \Delta s \cdot \frac{\partial^2 Y}{\partial t^2} j = [T(x + \Delta x) \cdot \sin \theta(x + \Delta x) - T(x) \cdot \sin \theta(x)] j$$

η οποία διαιρώντας με Δx καταλήγει στην:

$$\mu \cdot \frac{\Delta s}{\Delta x} \cdot \frac{\partial^2 Y}{\partial t^2} = \frac{[T(x + \Delta x) \cdot \sin \theta(x + \Delta x) - T(x) \cdot \sin \theta(x)]}{\Delta x}$$

$$\Rightarrow \sigma \sqrt{1 + \left(\frac{\Delta Y}{\Delta x}\right)^2} \cdot \frac{\partial^2 Y}{\partial t^2} = \frac{[T(x + \Delta x) \cdot \sin \theta(x + \Delta x) - T(x) \cdot \sin \theta(x)]}{\Delta x}$$

Παίρνοντας το όριο $\Delta x \rightarrow 0$ αυτή γίνεται:

$$\mu \sqrt{1 + \left(\frac{\partial Y}{\partial x}\right)^2} \cdot \frac{\partial^2 Y}{\partial t^2} = \frac{\partial(T \sin \theta)}{\partial x} \quad (3)$$

επειδή: $\sin \theta = \frac{\tan \theta}{\sqrt{1 + \tan^2 \theta}} = \frac{\partial Y / \partial x}{\sqrt{1 + (\partial Y / \partial x)^2}}$.

Η (3) μπορεί να γραφεί $\mu \sqrt{1 + \left(\frac{\partial Y}{\partial x}\right)^2} \cdot \frac{\partial^2 Y}{\partial t^2} = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{T \cdot \partial Y / \partial x}{\sqrt{1 + (\partial Y / \partial x)^2}} \right\}$ (6).

Για να απλοποιήσουμε την εξίσωση υποθέτουμε ότι οι ταλαντώσεις είναι μικρές ώστε η κλίση $\partial Y / \partial x$ να είναι μικρή κατ' απόλυτη τιμή σε σύγκριση με το 1. Έτσι αν παραλείψουμε το $(\partial Y / \partial x)^2$ που προστίθεται στο 1 η (6) γίνεται

$$\mu \frac{\partial^2 Y}{\partial t^2} = \frac{\partial}{\partial x} \left(T \cdot \frac{\partial Y}{\partial x} \right) \quad (7)$$

Αν επιπλέον υποθέσουμε ότι η τάση είναι σταθερή κατά μήκος της χορδής κι ότι το μ είναι επίσης σταθερό η (7) γίνεται

$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{\mu}{T} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$. Αυτή η εξίσωση έχει ακριβώς την ίδια μορφή με τη γενική

διαφορική εξίσωση $\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$ κι εφόσον περιγράφουν την ίδια κυματική

κίνηση πρέπει να είναι ταυτόσημες άρα $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$.

Αποδείχθηκε λοιπόν ότι η ταχύτητα του κύματος αυξάνει όσο αυξάνει η τάση T , αλλά ελαττώνεται όταν η μάζα ανά μονάδα μήκους μ αυξάνει. Η ταχύτητα λοιπόν του κύματος σε χορδή εξαρτάται μόνο από τις ελαστικές και αδρανειακές ιδιότητες του μέσου.

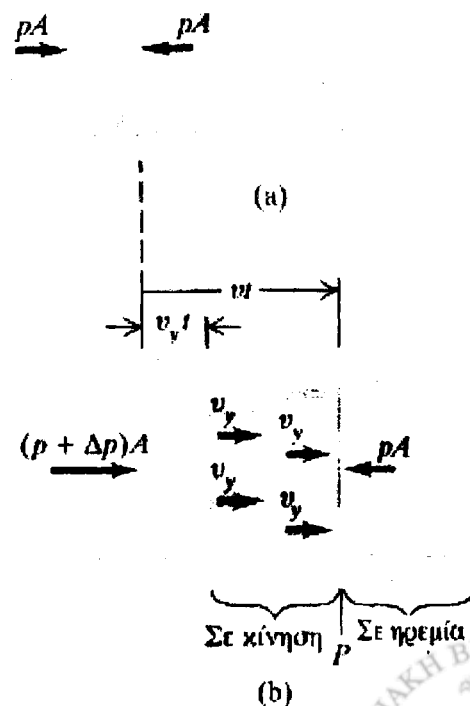
1.5 Ταχύτητα διαμήκους κύματος

Η σχέση που εκφράζει την ταχύτητα διάδοσης διαμήκους κύματος είναι ανάλογη προς την εξίσωση για τα εγκάρσια. Το x είναι η συντεταγμένη κατά μήκος της διεύθυνσης διάδοσης στο μέσο διάδοσης, αλλά για διάμηκες κύμα η μετατόπιση y είναι κατά μήκος της ίδιας διεύθυνσης και όχι κατά την κάθετη διεύθυνση που είναι στο εγκάρσιο κύμα.

Θα χρησιμοποιήσουμε το παράδειγμα ενός ρευστού (υγρού ή αέριου) εντός σωλήνα με ένα έμβολο στο αριστερό άκρο. Εάν σπρώξουμε το έμβολο προς τα μέσα συμπιέζουμε το ρευστό κοντά στο έμβολο, αυξάνοντας την πίεση σ' αυτήν την περιοχή. Η περιοχή αυτή σπρώχνει μετά τη γειτονική περιοχή του ρευστού κοκ. και δημιουργείται ένα κύμα που ταξιδεύει προς τα δεξιά κατά μήκος του σωλήνα με σταθερή ταχύτητα. Οι διακυμάνσεις της πίεσης παίζουν τον ρόλο της δύναμης επαναφοράς και τείνουν να επαναφέρουν το ρευστό στην ισορροπία και σε κατάσταση ομοιόμορφης πίεσης.

Σχήμα 1.5.1

Ισορροπία



Όταν η κίνηση του εμβόλου είναι αρμονική δημιουργούνται στο ρευστό περιοχές όπου η πίεση και η πυκνότητα είναι μεγαλύτερες ή μικρότερες από τις τιμές ισορροπίας. Πύκνωμα είναι μια περιοχή αυξημένης πίεσης και αραιώμα μια περιοχή μειωμένης πίεσης. Τα πυκνώματα και τα αραιώματα κινούνται προς τα δεξιά με σταθερή ταχύτητα .

Έστω λοιπόν ότι έχουμε ένα ρευστό πυκνότητας ρ σε σωλήνα διατομής A . Την $t=0$ αρχίζουμε να κινούμε το έμβολο στο αριστερό άκρο προς τα δεξιά με σταθερή ταχύτητα v_y . Σε χρόνο t το έμβολο έχει κινηθεί απόσταση $v_y t$ και το σύνορο μεταξύ κινούμενων και ακίνητων τμημάτων απόσταση vt . Η ποσότητα ρευστού που τέθηκε σε κίνηση στο χρόνο t είναι η ποσότητα που αρχικά καταλάμβανε το τμήμα κυλίνδρου με μήκος vt διατομής A και όγκου vtA . Η μάζα αυτού του ρευστού είναι ρvtA και η διαμήκης ορμή $(\rho vtA) v_y$.

Σ' αυτό το σημείο πρέπει να ορίσουμε το μέτρο ελαστικότητας όγκου B . Όταν η πίεση που ασκείται σε ένα σώμα μεταβάλλεται κατά Δp από p_0 σε $p_0 + \Delta p$ και η αντίστοιχη ανηγμένη μεταβολή όγκου είναι $\Delta V/V_0$ έχουμε $B = -\frac{\Delta p}{\Delta V/V_0}$. Άρα

$$B = -\frac{\Delta p}{-\Delta v_y t / Av_t} \quad \text{και} \quad \Delta p = B \frac{v_y}{v}. \quad \text{Η πίεση στο κινούμενο ρευστό είναι } p + \Delta p \text{ και η}$$

δύναμη που εφαρμόζεται από το έμβολο είναι $(p + \Delta p)A$. Η συνολική δύναμη είναι

$$\Delta p A \quad \text{και η διαμήκης ώθηση είναι } \Delta p A t = B \frac{v_y}{v} A t. \quad \text{Επειδή το ρευστό ήταν ακίνητο τη}$$

στιγμή $t=0$ η μεταβολή στην ορμή έως τη στιγμή t είναι ίση προς την ορμή αυτή τη στιγμή. Από το θεώρημα ώθησης - ορμής για τη μάζα του ρευστού ρvtA ισχύει:

$$B \frac{v_y}{v} A t = \rho vtA v_y, \quad \text{απ' όπου} \quad v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}.$$

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι και στη διάδοση διαμήκους κύματος η ταχύτητα του κύματος εξαρτάται από τις ελαστικές και αδρανειακές ιδιότητες του μέσου. Η ταχύτητα του ήχου στον αέρα ή στο νερό δίνεται από αυτή την εξίσωση αφού γνωρίζουμε ότι ο ήχος είναι ένα διάμηκες κύμα με συχνότητα που εμπίπτει στην περιοχή της ανθρώπινης ακοής.



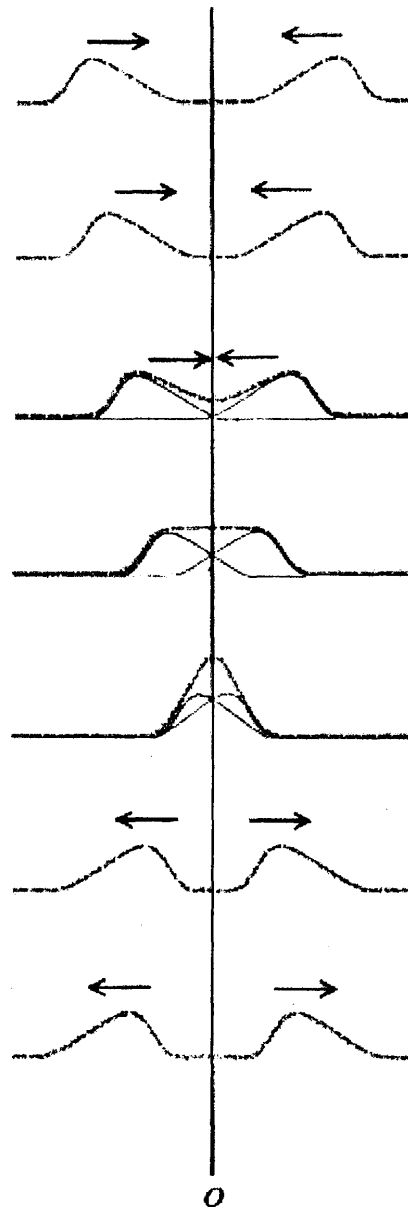
1.6 Συμβολή κυμάτων

Γενικά μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι σε κάποιο σημείο ενός χώρου όπου διαδίδονται κύματα δρουν διάφορες διαταραχές. Σύμφωνα με την αρχή της επαλληλίας, η συνολική διαταραχή στο συγκεκριμένο σημείο θα ισούται με το άθροισμα των επιμέρους διαταραχών.

Πιο συγκεκριμένα ας θεωρήσουμε το παράδειγμα δύο κυματοπαλμών που διαδίδονται σε αντίθετες κατευθύνσεις σε μία χορδή (Σχήμα 1.6.1). Σύμφωνα με την αρχή αυτή όταν οι δύο παλμοί συνευρίσκονται, η πραγματική μετατόπιση οποιουδήποτε σημείου στη χορδή, κάθε χρονική στιγμή, βρίσκεται προσθέτοντας δύο μετατοπίσεις: τη μετατόπιση που θα είχε το σημείο εάν μόνο το πρώτο κύμα ήταν παρόν και τη μετατόπιση που θα είχε μόνο από το δεύτερο κύμα.

Με μαθηματικούς όρους η αρχή της επαλληλίας λέει ότι η κυματοσυνάρτηση $y(x,t)$ που περιγράφει την προκύπτουσα κίνηση βρίσκεται προσθέτοντας τις δύο κυματοσυναρτήσεις για τα δύο διαφορετικά κύματα.

Σχήμα 1.6.1



Κεφάλαιο 2: Ανασκόπηση προηγούμενων ερευνών

2.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια πληθαίνουν συνεχώς οι εκπαιδευτικές έρευνες, οι οποίες επικεντρώνονται στις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι μαθητές κι οι φοιτητές με τη φυσική. Έτσι οι ερευνητές αποκτούν βαθύτερη γνώση για το βαθμό στον οποίο κατανοούν οι τελευταίοι, την ύλη που διδάσκονται στην τάξη ή στο αμφιθέατρο.

Οι ερευνητές εστιάζουν στις αντιλήψεις των μαθητών/σπουδαστών σε συγκεκριμένα πεδία της φυσικής, όπως στη μηχανική, στα ηλεκτρικά κυκλώματα, στη θερμότητα και στη θερμοκρασία^[8]. Πολλές έρευνες φανερώνουν την ύπαρξη «κοινών ιδεών», η οποία προηγείται και συχνά έρχεται σε αντίθεση με τη Φυσική που διδάσκεται στο σχολείο^[1].

2.2 Προηγούμενες Έρευνες

Είναι ολιγάριθμες οι μελέτες στις οποίες εξετάζονται οι δυσκολίες των μαθητών στα μηχανικά κύματα. Οι L. Maurines^[1], Michael C. Wittmann^{[5],[6]}, Richard N. Steinberg^{[5],[6]}, Edward F. Redish^{[5],[6]}, Cedric J. Linder^{[2],[3],[4]}, Gaalen L. Erickson^[2] μελέτησαν τις αντιλήψεις των μαθητών για τη διάδοση ή τη συμβολή και τη φύση των μηχανικών κυμάτων.

Στην έρευνά της η L. Maurines^[1] αναλύει τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι μαθητές όταν διδάσκονται τη διάδοση ενός εγκάρσιου παλμού σε χορδή. Από τα αποτελέσματα της έρευνάς της φαίνεται ότι γι' αυτούς το μέσο θεωρείται ένα παθητικό στήριγμα κι ο παλμός είναι ένα αντικείμενο που δημιουργείται και τίθεται σε κίνηση από την πηγή.

Η έρευνά της έγινε στη Γαλλία. Οι εξεταζόμενοι κλήθηκαν να απαντήσουν σε 8 ερωτήσεις με ένα ναι ή ένα όχι αιτιολογώντας την απάντησή τους. Το δείγμα της έρευνας αποτελείται από 1300 άτομα. Οι 700, η πρώτη ομάδα, είναι απόφοιτοι μέσης εκπαίδευσης και δεν έχουν παρακολουθήσει κανένα μάθημα για τα κύματα. Πριν τους μοιραστεί το ερωτηματολόγιο έγινε επίδειξη πειράματος που έδειχνε τη διάδοση ενός εγκάρσιου παλμού σε χορδή. Η δεύτερη ομάδα περιλάμβανε 600 άτομα τα

οποία είχαν παρακολουθήσει μαθήματα για τα κύματα. Περιλάμβανε μαθητές μέσης εκπαίδευσης, φοιτητές τμήματος φυσικής και κάποιους που παρακολουθούσαν μαθήματα διδακτικής της φυσικής.

Η πρώτες τρεις ερωτήσεις του ερωτηματολογίου της L.Maurines^[1] δίδονται παρακάτω:

1. Στο σχοινί υπάρχει ένα κόκκινο σημάδι στο σημείο R. Ένα παιδί κρατά το άκρο O.



Το παιδί κουνά το χέρι του και παρατηρεί τον παρακάτω παλμό τη στιγμή t.



Υπάρχει κάποιος τρόπος να κουνήσει το παιδί το χέρι του, ώστε ο παλμός να φτάσει στο κόκκινο σημάδι πιο γρήγορα απ' ό,τι στο πρώτο πείραμα;

Ναι Όχι

Αν ναι, ποιος είναι αυτός;

Αν όχι, γιατί;

2. Τρία σχοινιά είναι ακουμπισμένα στο πάτωμα. Τρία παιδιά, που το καθένα κρατά τη μία άκρη κάθε σχοινιού, κουνώντας τα χέρια τους δημιουργούν τρεις διαφορετικούς παλμούς που ταξιδεύουν στα τρία σχοινιά. Παρακάτω δίδονται



οι παλμοί σε δεδομένη χρονική στιγμή.

Είναι δυνατόν οι παραπάνω παλμοί να έχουν την ίδια ταχύτητα;

Ναι Όχι

Αν ναι, γιατί;

Αν όχι, ποιος κινείται πιο γρήγορα, πιο αργά;

3. Ο παρακάτω παλμός εξαφανίζεται πριν φτάσει στην άλλη άκρη του σχοινιού.

Μεταβάλλεται η ταχύτητα του παλμού κατά τη διάδοσή του στο σχοινί;

Ναι Όχι

Γιατί;



Με τις τρεις αυτές ερωτήσεις εξετάζεται το αν οι μαθητές γνωρίζουν ότι η ταχύτητα διάδοσης ενός παλμού είναι σταθερή και χαρακτηριστική του μέσου διάδοσης (Σε μέσα χωρίς διασπορά).

Με την πρώτη ερώτηση ελέγχεται αν και κατά πόσο οι μαθητές πιστεύουν ότι η δημιουργία του παλμού επηρεάζει την ταχύτητά του. Αν δηλαδή η ταχύτητα του παλμού εξαρτάται από τις αρχικές συνθήκες. Σε $N=42$ άτομα από την πρώτη ομάδα, που δεν είχε παρακολουθήσει μαθήματα για τα κύματα, και $N=16$ από τη δεύτερη το 60% και το 75% αντίστοιχα απαντά ότι ναι, υπάρχει τρόπος και οι πιο πολλοί στην εξήγησή τους αναφέρουν τη δύναμη του χεριού για να δημιουργηθεί ο παλμός.

Φαίνεται λοιπόν, ότι μεγάλο ποσοστό των μαθητών και των δύο ομάδων πιστεύει ότι η ταχύτητα του παλμού εξαρτάται από τις αρχικές συνθήκες, καθώς πιστεύουν ότι υπάρχει τρόπος να κουνήσει το παιδί το χέρι του ώστε ο παλμός να ταξιδέψει πιο γρήγορα. Ακόμα και στη δεύτερη ομάδα μόνο το 25% αναγνωρίζει τη σωστή απάντηση ότι η ταχύτητα του παλμού εξαρτάται από τις ελαστικές και αδρανειακές ιδιότητες του μέσου.

Στη δεύτερη ερώτηση το 87% ($N=93$) της πρώτης ομάδας και 41% ($N=27$) της δεύτερης ομάδας απαντούν ότι δε γίνεται οι παλμοί να έχουν την ίδια ταχύτητα. Φαίνεται να συνδέουν την ταχύτητα του παλμού με το σχήμα του. Και εδώ οι αιτιολογήσεις που συμπεριλαμβάνουν τη δύναμη είναι πάρα πολλές. Συνδέουν το πλάτος του παλμού με τη δύναμη του χεριού στην αρχή και τελικά με την ταχύτητα διάδοσης: μεγαλύτερο πλάτος σημαίνει μεγαλύτερη δύναμη άρα μεγαλύτερη ταχύτητα διάδοσης.

Στην τρίτη ερώτηση 68% ($N=56$) της πρώτης ομάδας και 55% ($N=42$) της δεύτερης απαντούν λανθασμένα και πιστεύουν ότι η ταχύτητα του παλμού μειώνεται. Στις αιτιολογήσεις όπου αναφερόταν η δύναμη φαίνεται να επικρατεί η άποψη ότι η δύναμη του χεριού αρχικά «αποθηκεύεται» στον παλμό. Έτσι όταν το πλάτος του παλμού μειώνεται αυτή η «αποθηκευμένη δύναμη» μειώνεται άρα και η ταχύτητα μειώνεται.

Ολοκληρώνοντας μπορούμε να πούμε ότι ένα από τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξε η L.Maurines^[1] για τις αντιλήψεις των μαθητών είναι ότι ο παλμός θεωρείται υλικό σημείο το οποίο κινείται σύμφωνα με τους νόμους της δυναμικής. Η ταχύτητα διάδοσης του εξαρτάται από τις αρχικές συνθήκες, όπως συμβαίνει με την ταχύτητα μιας μπάλας όταν την πετάμε, και μπορεί να μειώνεται με τον χρόνο όπως μειώνεται η ταχύτητα ενός αντικειμένου στο οποίο ασκείται η τριβή.

Οι Cedric J. Linder^[2] και Gaalen L. Erickson^[2] στην έρευνά τους μελέτησαν τις αντιλήψεις φοιτητών της Τριτοβάθμιας Εκπαίδευσης για τον ήχο. Αυτοί οι φοιτητές επρόκειτο σύντομα να διδάξουν Φυσικές Επιστήμες στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση. Από την έρευνα διαπιστώθηκε ότι υπάρχουν δυσκολίες στην κατανόηση της διάδοσης ηχητικών κυμάτων στον αέρα.

Σύμφωνα με τους ερευνητές η επιτυχία σε εξετάσεις βασισμένες στην μαθηματική επίλυση ασκήσεων δεν αποδεικνύει εννοιολογική κατανόηση του αντικειμένου. Πρωταρχικός στόχος της έρευνάς τους είναι η καταγραφή των διαφορετικών τρόπων που χρησιμοποιούν οι φοιτητές, για να ερμηνεύσουν τα διάφορα φαινόμενα που συσχετίζονται με τον ήχο.

Το δείγμα της έρευνας αυτής ήταν 10 απόφοιτοι φυσικού τμήματος ή μηχανικοί με ειδικότητα στη φυσική από διάφορα Πανεπιστήμια του Καναδά. Οι απόφοιτοι συμμετείχαν σε συνεντεύξεις στις οποίες συμπεριλαμβάνονταν επιδείξεις πειραμάτων για τον ήχο από την καθημερινή ζωή και από σχολικά βιβλία.

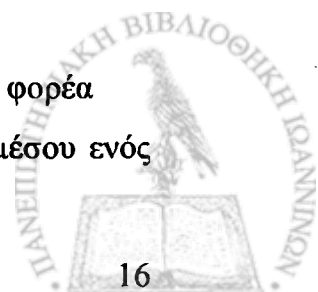
Οι συνεντεύξεις διαρκούσαν από 40 έως 80 min και το βασικό θέμα ήταν η φύση του ήχου. Τα φαινόμενα προς συζήτηση ήταν τα εξής: προσωπικές εμπειρίες ήχου, ήχος από έκρηξη μπαλονιού, ήχος από δονούμενα πιρούνια, πείραμα με σωλήνα πηγή ήχου και φλόγα, γραφική αναπαράσταση ήχου και οι παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα του ήχου κατά τη διάδοσή του στον αέρα.

Από τα αποτελέσματα της έρευνάς τους διαπίστωσαν ότι οι φοιτητές χρησιμοποιούν διαφορετικό τρόπο για να εξηγούν τα φαινόμενα σε διαφορετικές στιγμές. Οι διαφορετικοί αυτοί τρόποι προσανατολίζονταν γύρω από δύο γενικές κατηγορίες. Τη «μικροσκοπική» και τη «μακροσκοπική» περιγραφή των φαινομένων.

Γενικά παρατήρησαν τέσσερις αντιλήψεις για τον ήχο.

Ο ήχος παρουσιάζεται ως^[9]:

- ❖ μια ολότητα που μεταφέρεται από ξεχωριστά μόρια διαμέσου ενός φορέα
- ❖ μια ολότητα που μεταβιβάζεται από το ένα μόριο στο άλλο διαμέσου ενός φορέα

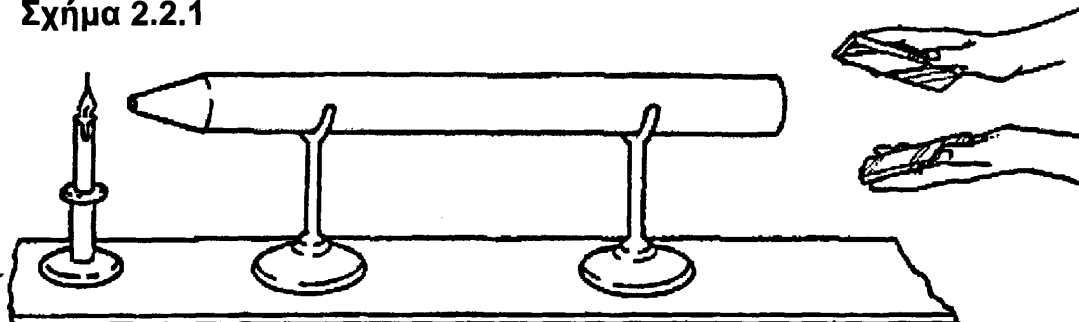


- ❖ μια ουσία που ταξιδεύει, «συνήθως με τη μορφή του αέρα που ρέει»
- ❖ μια ουσία που έχει τη μορφή κινούμενου σχεδίου.

Οι Cedric J. Linder^[2] και Gaalen L. Erickson^[2] χαρακτηρίζουν τις δύο πρώτες αντιλήψεις ως «μικροσκοπικές», λόγω του ότι οι φοιτητές εξήγησαν το φαινόμενο του ήχου βασισμένοι στα μόρια και είχαν την τάση να ορίζουν τον ήχο ως ένα «πράγμα». Τις άλλες δύο αντιλήψεις τις χαρακτηρίζουν ως «μακροσκοπικές», καθώς οι φοιτητές εξήγησαν το φαινόμενο σε σχέση με τα εμφανή, φυσικά χαρακτηριστικά του υλικού μέσου^[9].

Σε μία ερώτηση ζήτησαν από τους φοιτητές να περιγράψουν τι θα συμβεί σε μία φλόγα, η οποία είναι τοποθετημένη στο ένα άκρο ενός σωλήνα, αν κάποιος χτυπήσει δύο κομμάτια ξύλο μεταξύ τους στην άλλη άκρη του σωλήνα (Σχήμα 2.2.1).

Σχήμα 2.2.1



Μία απάντηση ήταν η εξής: «Ο ήχος δημιουργεί ένα κύμα το οποίο εκπέμπεται και συγκεντρώνεται στο σωλήνα. Έτσι το κύμα ταξιδεύει προς τα κάτω». Ο εξεταστής ρώτησε: «Σπρώχνοντας τον αέρα που υπάρχει μπροστά του;» και η απάντηση του φοιτητή ήταν θετική. Η ερώτηση του εξεταστή είχε ως σκοπό να «προκαλέσει» και να φέρει στο φως δυσκολίες που τυχόν αντιμετώπιζε ο φοιτητής. Η περιγραφή αυτή του φοιτητή για τον ήχο εντάσσεται στην κατηγορία της μακροσκοπικής περιγραφής. Ο ήχος θεωρείται ως μια ουσία που ταξιδεύει και συσχετίζεται με μία «κινούμενη δύναμη».

Μία άλλη περιγραφή φοιτητή για τον ήχο και το πώς αυτός φτάνει στο αντί μας είναι η εξής: «Θεωρήστε μία σειρά από μπίλιες πάνω σε ένα τραπέζι. Χτυπώντας ελαφρά τη μπίλια στη μία άκρη, αν βάλεις το χέρι σου στην άλλη άκρη νιώθεις το χτύπημα. Αυτή η διαδικασία είναι ανάλογη με την πτώση ενός βιβλίου η οποία αναγκάζει όλα αυτά τα μικρότερα πράγματα στον αέρα που ονομάζουμε μόρια να κινηθούν. Τα μόρια λειτουργούν το ίδιο με τις μπίλιες και μεταφέρουν αυτή τη διαταραχή μέχρι το χέρι σου στην άλλη άκρη να τη νιώσει. Εδώ στην άλλη άκρη είναι το

αυτή που νιώθει αυτή τη διαταραχή.» Αυτή είναι μία μικροσκοπική περιγραφή του ήχου στην οποία λαμβάνουν χώρα συγκρούσεις μεταξύ των μορίων με τρόπο ανάλογο του «ντόμινο».

Συμπερασματικά λοιπόν, οι Cedric J. Linder^[2] και Gaalen L. Erickson^[2] κατηγοριοποίησαν τις περιγραφές των φοιτητών σε μικροσκοπικές και μακροσκοπικές. Στην πρώτη περίπτωση ο ήχος θεωρείται ένα «αντικείμενο» που κουβαλάνε τα μόρια μέσω ενός μέσου ή μεταφέρεται από ένα μόριο σε ένα άλλο με συγκρούσεις. Στη δεύτερη ο ήχος περιγράφεται μέσω των ιδιοτήτων του μέσου και θεωρείται ως ένα είδος ουσίας που μπορεί να ασκήσει δύναμη. Στις περιγραφές αυτές εντοπίζονται στοιχεία από πολύ παλαιότερες ιδέες για τον ήχο. Πιο συγκεκριμένα για τον Αριστοτέλη:

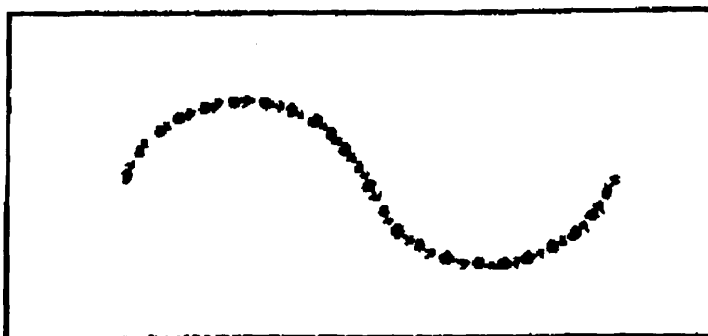
- ο ήχος είναι αέρας με ορμή (sound is a breath with impetus). (Problematica, book VIII)
- ο ήχος είναι αέρας που έχει τεθεί σε κίνηση (sound is air set in motion) (Problematica, book XI)^[2]

Ακόμα μία έρευνα στην οποία έγινε καταγραφή μακροσκοπικών περιγραφών για τον ήχο, ως «ουσία κινούμενης δύναμης» («substance of moving force»), διεξήχθη από τον McCloskey (1983). Η έρευνά του έλαβε χώρα στο Johns Hopkins University και ονόμασε την περιγραφή αυτή «naive impetus theory»^[2].

Ο Cedric J. Linder^[3]

Σχήμα 2.2.2

αναφέρει και μία άλλη ενδιαφέρουσα περιγραφή για τον τρόπο διάδοσης του ήχου από φοιτητές του. Τα μόρια στον αέρα συγκρούονται μεταξύ τους με τέτοιο τρόπο



ώστε να δημιουργείται ένα ημιτονοειδές κύμα (Σχήμα 2.2.2). Η περιγραφή αυτή οφείλεται σε παρερμηνεία του διαγράμματος, που απεικονίζει τη (διαμήκη) μετατόπιση στοιχείου του μέσου από τη θέση ισορροπίας σε συνάρτηση με τη θέση κατά τη διάδοση ενός διαμήκους κύματος.

Επίσης παρατήρησε ότι οι φοιτητές αντιμετωπίζουν πολλές δυσκολίες ακόμα και με την έννοια της κατάστασης ισορροπίας του αέρα, μέσω του οποίου ο ήχος διαδίδεται. Όπως αναφέρει ένας φοιτητής «Θέση ισορροπίας θα είναι μία θέση ακινησίας. Πριν

χτυπήσει κάποιος τα κομμάτια ξύλου μεταξύ τους όλα τα σωματίδια του αέρα είναι ακίνητα. Μετά αναγκάζεις τα σωματίδια να κινηθούν άτακτα. Στη συνέχεια όμως γυρίζουν πίσω στη θέση ισορροπίας καθώς όλα γυρίζουν πάντα στη θέση ισορροπίας τους.»

Σε μία άλλη έρευνά του ο Cedric J. Linder^[4], μελετά τις αντιλήψεις των μαθητών για τον ήχο και πιο συγκεκριμένα για τους παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα διάδοσης του. Η έρευνα αυτή αποτελεί συνέχεια της έρευνας του 1989^[3]. Το δείγμα του ήταν 14 απόφοιτοι με ειδικότητα στη φυσική από 8 Πανεπιστήμια (του Καναδά και της Νοτίου Αφρικής). Αυτοί συμμετείχαν εθελοντικά σε συνεντεύξεις με θέμα τον ήχο. Οι απόφοιτοι είτε φοιτούσαν σε πρόγραμμα διδακτικής είτε το είχαν ολοκληρώσει είτε δίδασκαν σε προπτυχιακό επίπεδο. Οι ερωτήσεις ήταν γύρω από το «πώς το θέμα του ήχου θα μπορούσε να διδαχθεί καλύτερα». Έτσι εξασφάλισε ότι οι απαντήσεις θα ήταν αυθόρμητες. Εντοπίστηκαν τρεις διαφορετικοί τρόποι αντίληψης των παραγόντων που επηρεάζουν την ταχύτητα διάδοσης του ήχου.

Ο πρώτος τρόπος αναφέρεται στα εμπόδια που συναντά ο ήχος: «Καθώς ο ήχος ταξιδεύει σε ένα μέσο, η ταχύτητα του είναι συνάρτηση των φυσικών εμποδίων που συναντά, των μορίων». Ο ήχος γίνεται αντιληπτός ως ένα φυσικό αντικείμενο το οποίο επιβραδύνεται από φυσικά εμπόδια καθώς ταξιδεύει. Τα εμπόδια περιγράφονται είτε με το μέγεθός τους είτε με τη «συγκέντρωσή» τους (την πυκνότητα). Πιο μεγάλα μόρια ή περισσότερα ανά μονάδα χώρου τόσο μεγαλύτερο το φυσικό εμπόδιο. Λανθασμένα συμπεράσματα που διεξάγονται από αυτή την αντίληψη: «Ο ήχος ταξιδεύει πιο αργά στο ξύλο, όπου υπάρχουν μεγάλα μόρια, απ' ό τι στον αέρα» ή «Ο ήχος ταξιδεύει πιο γρήγορα στο κενό, εφόσον εκεί η πυκνότητα είναι ελάχιστη». Ο φοιτητής που κατέληξε στο τελευταίο συμπέρασμα εξέφρασε μία ανησυχία, καθώς το συμπέρασμά του για τη διάδοση του ήχου ερχόταν σε αντίθεση με το γεγονός ότι ο ήχος δε διαδίδεται στο κενό, κάτι που είχε διδαχθεί.

Η δεύτερη αντίληψη είναι η εξής:

«Η ταχύτητα διάδοσης του ήχου είναι συνάρτηση του διασκορπισμού των μορίων». Και σε αυτήν την περίπτωση ο ήχος θεωρείται μία ολότητα που μεταφέρεται από τα μόρια για μια συγκεκριμένη απόσταση, που στη συνέχεια διαβιβάζουν το «φορτίο» σε άλλα μόρια. Κατά συνέπεια η ταχύτητα του ήχου, σύμφωνα με αυτή την αντίληψη, εξαρτάται από το πόσο μακριά πρέπει να ταξιδέψει ένα μόριο για να συναντήσει ένα άλλο στο οποίο θα «μεταβιβάσει» τον ήχο. Η ταχύτητα του ήχου λοιπόν, εμφανίζεται

να εξαρτάται από την πυκνότητα του μέσου, η οποία όσο αυξάνεται τόσο μειώνεται η απόσταση μεταξύ των μορίων άρα τόσο αυξάνεται η ταχύτητα.

Στην τρίτη αντίληψη: «*Η ταχύτητα του ήχου εξαρτάται από τη συμπιεστότητα του υγρού, όσο η συμπιεστότητα αυξάνει τόσο αυξάνεται και η ταχύτητα*». Στην αντίληψη αυτή φαινομενικά σωστές απαντήσεις συνδυάζονται με λάθος τρόπο. Το μέτρο ελαστικότητας και η συμπιεστότητα είναι δύο όροι με αντίστροφη σημασία. Το μέτρο ελαστικότητας του αέρα για παράδειγμα, εκφράζει το μέτρο της αντίστασης του μέσου στη συμπίεση ή στην εκτόνωση. Όχι το πόσο εύκολα συμπιέζεται ή εκτονώνεται. Η ταχύτητα του ήχου στον αέρα είναι ανάλογη της τετραγωνικής ρίζας του μέτρου της ελαστικότητας και αντιστρόφως ανάλογη της τετραγωνικής ρίζας της πυκνότητας του μέσου. Έτσι, η διαισθητική αντίληψη για την ελαστικότητα συνδυάζεται με τη σχέση αυτή και διεξάγονται λάθος συμπεράσματα. Αναγνωρίζονται λοιπόν, σωστά οι παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα του ήχου στον αέρα, αλλά γίνεται λάθος στον τρόπο εξάρτησης.

Οι φοιτητές που έλαβαν μέρος στην έρευνά του ήταν όλοι άνω του μετρίου. Από τις τρεις αυτές αντιλήψεις ο Cedric J. Linder^[4], συμπέρανε ότι ναι μεν οι φοιτητές έχουν διδαχθεί από ποιους παράγοντες επηρεάζεται η ταχύτητα του ήχου αλλά δεν κατανόησαν ή δε διδάχθηκαν το πώς. Σύμφωνα με τον ερευνητή^[4] παρόλο που η βιβλιογραφία για τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών είναι τεράστια, οι καθηγητές της Τριτοβάθμιας δεν τις λαβαίνουν υπ' όψιν.

Η επόμενη έρευνα^[5] αποτελεί το πρώτο μέρος μιας σειράς ερευνών των Michael C. Wittmann^{[5],[6],[7]}, Richard N. Steinberg^{[5],[6]}, Edward F. Redish^{[5],[6]}, μέρος της διδακτορικής διατριβής του Michael C. Wittmann^[7] και οδηγό για την παρούσα διπλωματική εργασία.

Οι ερευνητές προσπαθούν να αναγνωρίσουν και να ερμηνεύσουν τα νοητικά μοντέλα (mental model) που οι φοιτητές χρησιμοποιούν για να κατανοήσουν τα κυματικά φαινόμενα. Διαπίστωσαν ότι πολλοί φοιτητές για να απαντήσουν σε ερωτήσεις που αναφέρονται στη ταχύτητα διάδοσης ενός παλμού σε σχοινί και στη συμβολή μηχανικών κυμάτων, κάνουν αναλογίες με τη Νευτώνεια Μηχανική. Επίσης, ότι χρησιμοποιούν έννοιες όπως η δύναμη και η ενέργεια με τον ίδιο τρόπο που τις χρησιμοποιούν για να ερμηνεύσουν τις κρούσεις. Το μοντέλο αυτό οι συγγραφείς το ονομάζουν «Μοντέλο Σωματιδιακού Παλμού» (Particle Pulse Model). Στη συνέχεια θα γίνει λεπτομερέστερη αναφορά.

Η έρευνα^[5] έγινε σε φοιτητές του Πανεπιστημίου του Μέριλαντ. Οι μηχανικοί του Πανεπιστημίου παρακολουθούν μια σειρά μαθημάτων Φυσικής που διαρκεί τρία εξάμηνα. Η έρευνα έγινε στο δεύτερο εξάμηνο. Το μάθημα περιλαμβάνει τριώρες διαλέξεις, εργαστήρια και εβδομαδιαίες συζητήσεις. Μέσα στην ύλη καλύπτονται θέματα από υδροστατική, υδροδυναμική, ταλαντώσεις, κύματα, θερμότητα, θερμοκρασία και ηλεκτρισμό. Προαπαιτούμενο μάθημα είναι η Νευτώνεια Μηχανική. Τα κύματα καλύπτονται σε μία περίοδο τριών ή τεσσάρων εβδομάδων. Πιο συγκεκριμένα στο μάθημα διδάσκονται διάδοση κύματος, συμβολή κυμάτων, αρμονικά κύματα, το φαινόμενο Doppler κα.

Αυτά που πρέπει να ξέρουν οι φοιτητές για τη διάδοση μηχανικών κυμάτων μικρού πλάτους σε μέσο χωρίς διασπορά, συνοψίζονται στα εξής:

- ο Η διάδοση ενός κύματος είναι η αντίδραση του μέσου σε μία διαταραχή. Τα χαρακτηριστικά της διάδοσης εξαρτώνται από το μέσο και όχι από τη φύση της διαταραχής.
- ο Η συμβολή κυμάτων πραγματοποιείται με την αλγεβρική πρόσθεση των μετατοπίσεων κάθε κύματος, σημείο προς σημείο, σε κάθε στιγμή.

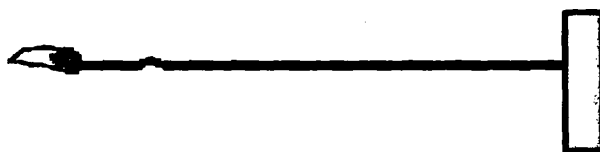
Σύμφωνα με τους ερευνητές οι φοιτητές αντιμετωπίζουν δυσκολίες και στα δύο κι αυτές περιγράφονται από ένα μόνο νοητικό μοντέλο.

Σε συνεντεύξεις που έγιναν τα εαρινά εξάμηνα του '96 και του '97, φοιτητές που είχαν παρακολουθήσει όλα τα μαθήματα για τα κύματα κλήθηκαν να απαντήσουν στην εξής, ανοιχτού τύπου, ερώτηση:

«Ένα τεντωμένο σχοινί είναι στερεωμένο σε ένα τοίχο. Ένας παλμός που κινείται πάνω στο σχοινί προς τον τοίχο, φτάνει στον τοίχο σε χρόνο t_0 (Βλέπε σχήμα 2.2.3). Πως θα μπορούσες να μειώσεις το χρόνο που χρειάζεται ο παλμός για να φτάσει στον τοίχο.

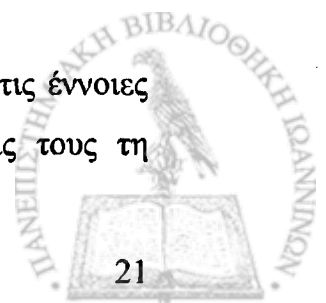
Εξηγήστε»

Σχήμα 2.2.3



Σωστή απάντηση θεωρείται αυτή στην οποία αναφέρεται ότι μόνο οι ιδιότητες του μέσου (τάση και πυκνότητα σχοινού) επηρεάζουν την ταχύτητα διάδοσης.

Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι σπουδαστές χρησιμοποιούν λανθασμένα τις έννοιες της δύναμης και της ενέργειας. Μερικοί αναφέρουν στις αιτιολογήσεις τους τη δύναμη που ασκείται από το χέρι για τη δημιουργία του παλμού.



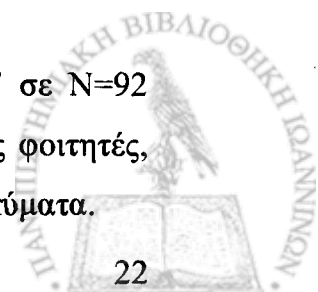
Για παράδειγμα μία απάντηση για το πώς θα μπορούσε κανείς να μειώσει το χρόνο, δηλαδή να αυξήσει την ταχύτητα διάδοσης του παλμού, αναφέρεται παρακάτω: «*Τινάζεις το χέρι σου πιο δυνατά... βάζεις περισσότερη δύναμη στο χέρι σου, άρα κινείται πιο γρήγορα*». Άλλοι θεωρούν ότι για να δημιουργήσει κανείς ένα παλμό με μεγαλύτερο πλάτος απαιτείται μεγαλύτερη δύναμη άρα αυτός ο παλμός θα κινείται πιο γρήγορα. Πιστεύουν δηλαδή λανθασμένα, ότι μία αλλαγή στην κίνηση του χεριού μπορεί να επηρεάσει την ταχύτητα διάδοσης του παλμού. Για αρκετούς φοιτητές η ταχύτητα διάδοσης εξαρτάται από τις αρχικές συνθήκες δημιουργίας του παλμού. Συμπέρασμα που προκύπτει κι από την έρευνα του L.Maurines^[1].

Μία απάντηση η οποία βασίζεται στην έννοια της ενέργειας είναι η εξής: «*Θα μπορούσαμε να κάνουμε τον αρχικό παλμό γρήγορο, αν τινάζαμε το χέρι μας πιο γρήγορα... Θα έβαζε περισσότερη ενέργεια στον παλμό*». Αυτός ο φοιτητής δεν μπορεί να διακρίνει την ταχύτητα του χεριού, η οποία σχετίζεται με την εγκάρσια ταχύτητα του σχοινιού, από τη διαμήκη ταχύτητα του παλμού στο σχοινί.

Φοιτητές οι οποίοι χρησιμοποιούν την έννοια της ενέργειας στις αιτιολογήσεις τους για το πώς θα άλλαζαν την ταχύτητα του παλμού, συχνά δηλώνουν ότι παλμοί διαφορετικού σχήματος θα ταξίδευαν με διαφορετικές ταχύτητες (Άποψη την οποία συνάντησε κι ο L.Maurines^[1] στην έρευνά του). Για παράδειγμα ένας φοιτητής ισχυρίστηκε ότι: «*Πρέπει να κάνεις τον παλμό πιο πλατό, ώστε να καλύπτει περισσότερο χώρο, κι έτσι θα πηγαίνει πιο γρήγορα*». Αυτός ο φοιτητής στη συνέχεια εξήγησε ότι απαιτείται περισσότερη ενέργεια για να δημιουργηθεί ένας μεγαλύτερος παλμός κι ότι ο παλμός θα κινηθεί πιο γρήγορα επειδή έχει περισσότερη ενέργεια. Άλλοι φοιτητές ισχυρίζονται ότι μικρότεροι παλμοί θα κινηθούν πιο γρήγορα. «*Μικρότερες κι εντονότερες κινήσεις του χεριού*» θα επιτρέψουν στον παλμό να γλιστρήσει πιο εύκολα, άρα γρηγορότερα, διαμέσου του σχοινιού.

Στη συνέχεια οι ερευνητές συνέταξαν ένα ερωτηματολόγιο το οποίο περιλάμβανε δύο είδη ερωτήσεων: ανοικτού τύπου και πολλαπλών επιλογών, πολλαπλών απαντήσεων. Στις δεύτερες οι πιθανές απαντήσεις βασίστηκαν σε συνήθεις απαντήσεις των σπουδαστών στις ανοικτού τύπου ερωτήσεις κατά τη διάρκεια των συνεντεύξεων. Έτσι θα μπορούσαν οι ερευνητές πιο εύκολα να ελέγξουν, το κατά πόσο οι φοιτητές κατανοούν βασικές αρχές της κυματικής φυσικής.

Το διαγνωστικό αυτό τεστ μοιράστηκε το χειμερινό εξάμηνο του '97 σε N=92 φοιτητές, πριν ξεκινήσουν τα μαθήματα και άλλη μία φορά, στους ίδιους φοιτητές, στο τέλος του εξαμήνου όταν είχαν ολοκληρωθεί όλα τα μαθήματα για τα κύματα.



Στην αρχή του εξαμήνου οι φοιτητές απάντησαν στις ερωτήσεις ανοιχτού τύπου στη συνέχεια παρέδωσαν τα γραπτά τους, ώστε να μην μπορούν να αλλάξουν τις απαντήσεις τους, και κατόπιν τους δόθηκε το δεύτερο μέρος του τεστ, το οποίο περιλάμβανε ερωτήσεις πολλαπλών επιλογών, πολλαπλών απαντήσεων.

Οι φοιτητές στο πλαίσιο του μαθήματος παρακολούθησαν διαλέξεις, έλυναν προβλήματα στο σπίτι και παρακολούθησαν ειδικά μαθήματα. Στα ειδικά αυτά μαθήματα γινόταν οπτικοποίηση κυμάτων με τη βοήθεια της τεχνολογίας. Έτσι οι φοιτητές ερχόντουσαν αντιμέτωποι με λανθασμένες προβλέψεις τους και ξεπερνούσαν πιο εύκολα τις όποιες δυσκολίες τους.

Στο τέλος του εξαμήνου οι σπουδαστές απάντησαν πάλι στις ερωτήσεις στο πλαίσιο της εξέτασης κατά τη διάρκεια των διαλέξεων.

Μία ερώτηση ανοιχτού τύπου που περιλάμβανε το ερωτηματολόγιο αναφέρθηκε παραπάνω και η δεύτερη διατύπωσή της σε μορφή πολλαπλών επιλογών, πολλαπλών απαντήσεων δίνεται παρακάτω:

«Ένα τεντωμένο σχοινί είναι στερεωμένο σε ένα τοίχο. Ένας άνθρωπος κουνά το χέρι του ώστε να δημιουργήσει έναν παλμό που ταξιδεύει προς τον τοίχο (βλέπε σχήμα 2.2.3). Ο άνθρωπος θέλει να δημιουργήσει έναν παλμό που χρειάζεται περισσότερο χρόνο για να φτάσει στον τοίχο. Ποια από τις παρακάτω ενέργειες α-ι, από μόνη της, μπορεί να επιφέρει το ζητούμενο αποτέλεσμα; Παραπάνω από μία ερώτηση μπορεί να είναι σωστή. Αν ισχύει αυτό, να δώσετε όλες τις σωστές απαντήσεις. Εξηγήστε το συλλογισμό σας.

- α) Να κουνήσει το χέρι του πιο γρήγορα (αλλά πάλι μόνο πάνω-κάτω κατά την ίδια απόσταση και μία φορά).*
- β) Να κουνήσει το χέρι του πιο αργά (αλλά πάλι μόνο πάνω-κάτω κατά την ίδια απόσταση και μία φορά).*
- γ) Να κουνήσει το χέρι του μεγαλύτερη απόσταση πάνω-κάτω αλλά στον ίδιο χρόνο.*
- δ) Να κουνήσει το χέρι του μικρότερη απόσταση πάνω-κάτω αλλά στον ίδιο χρόνο.*
- ε) Να χρησιμοποιήσει ένα βαρύτερο σχοινί ίδιου μήκους, υπό την ίδια τάση.*
- στ) Να χρησιμοποιήσει ένα ελαφρύτερο σχοινί ίδιου μήκους, υπό την ίδια τάση.*
- ζ) Να χρησιμοποιήσει ένα σχοινί ίδιας γραμμικής πυκνότητας αλλά να μειώσει την τάση.*
- η) Να χρησιμοποιήσει ένα σχοινί ίδιας πυκνότητας αλλά να αυξήσει την τάση.*

- θ) Να βάλει μεγαλύτερη δύναμη στο κύμα.
ι) Να βάλει μικρότερη δύναμη στο κύμα.
κ) Τίποτα από τα παραπάνω.»

Σωστή απάντηση: Αυτή που περιλαμβάνει τις επιλογές ε και ζ.

Οι ερευνητές αναφέρουν ότι στην αρχή του εξαμήνου πολύ λίγοι ήταν οι φοιτητές που έδωσαν μόνο τη σωστή απάντηση και στους δύο τύπους ερωτήσεων (7%). Οι περισσότεροι όμως (60%), στην ερώτηση πολλαπλών επιλογών συμπεριέλαβαν τη σωστή ενώ οι ίδιοι απάντησαν λάθος στην ανοιχτού τύπου ερώτηση. Σχεδόν όλοι οι φοιτητές, πάνω από τα τρία τέταρτα, ισχυρίζονται ότι μία κίνηση του χεριού μπορεί να επηρεάσει την ταχύτητα του παλμού.

Οι επιδόσεις των φοιτητών στο τέλος του εξαμήνου ήταν πολύ καλύτερες. Το 40% των φοιτητών απάντησε σωστά και στις δύο ερωτήσεις. Σχεδόν όλοι αναγνωρίζουν τη σωστή απάντηση στην ερώτηση πολλαπλών επιλογών όμως το 46% δίνει μόνο αυτή ενώ στο ανοιχτού τύπου το 50% δίνει μόνο τη σωστή απάντηση. Είναι αξιοπρόσεκτο ότι το 44% των σπουδαστών στην ανοιχτού τύπου και το 52% στην πολλαπλών επιλογών πιστεύει ακόμα ότι μία αλλαγή στην κίνηση του χεριού παίζει ρόλο στην ταχύτητα διάδοσης του παλμού.

Το εαρινό εξάμηνο του '96 είχε δοθεί πάλι το ερωτηματολόγιο μετά από το παραδοσιακό μάθημα (διαλέξεις, εργαστήρια χωρίς τροποποιημένο μάθημα) σε N=116 φοιτητές. Παρατηρήθηκε ότι λιγότερο από το 30% απάντησε σωστά στην ερώτηση πολλαπλών επιλογών ενώ περίπου το 65% απάντησε, στην ίδια ερώτηση, ότι μία αλλαγή στο μέσο αλλά και στην κίνηση του χεριού θα επιφέρει το ζητούμενο αποτέλεσμα.

Γενικά παρατηρήθηκε ότι πριν το μάθημα, παραδοσιακό ή τροποποιημένο, και μετά, οι φοιτητές που απάντησαν στην ανοιχτού τύπου ερώτηση χρησιμοποιώντας μόνο απαντήσεις που βασίζονται στην κίνηση του χεριού αναγνωρίζουν τη σωστή στην ερώτηση πολλαπλών επιλογών. Ακόμα όμως και μετά το τέλος του εξαμήνου πολλοί φοιτητές πιστεύουν ότι μία αλλαγή στην κίνηση του χεριού μπορεί να επηρεάσει την ταχύτητα διάδοσης του παλμού.

Επίσης στην ανοιχτού τύπου ερώτηση οι φοιτητές χρησιμοποιούν μόνο μία εξήγηση. Οι φοιτητές που απάντησαν σωστά στην ερώτηση ανοιχτού τύπου απάντησαν σωστά και στην ερώτηση πολλαπλών επιλογών. Αυτοί φαίνεται ότι κατανοούν πραγματικά από ποιους παράγοντες εξαρτάται η ταχύτητα του παλμού.

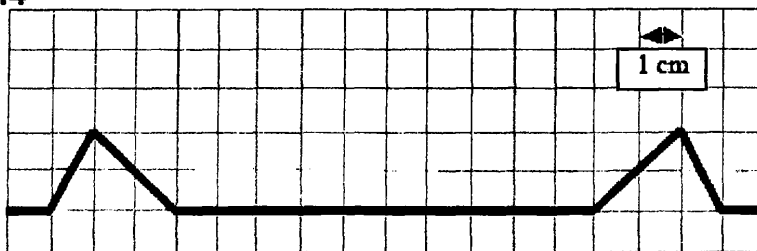
Μία άλλη ερώτηση που τέθηκε σε $N=65$ φοιτητές στο τέλος του εαρινού εξαμήνου του '96, αφορούσε τη συμβολή παλμών που κινούνται με αντίθετες κατευθύνσεις σε σχοινί. Οι φοιτητές είχαν ολοκληρώσει τα μαθήματα για τα κύματα τα οποία είχαν τη μορφή παραδοσιακών διαλέξεων. Με την ερώτηση ερευνάται η κατανόηση των φοιτητών στην περίπτωση που οι παλμοί συναντιούνται αλλά οι κορυφές τους δεν συμπίπτουν.

Η ερώτηση αναφέρεται παρακάτω:

«Θεωρήστε δύο παλμούς σε ένα σχοινί όπως φαίνεται στο σχήμα (σχήμα 2.2.4).

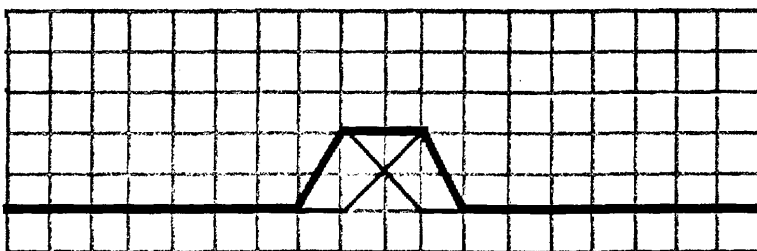
Κινούνται ο ένας προς τον άλλο με ταχύτητα 10cm/sec . Σχεδιάστε τη μορφή του σχοινοῦ μετά από $0,6\text{ sec}$. Εξηγήστε πως καταλήξατε στην απάντησή σας.»

Σχήμα 2.2.4



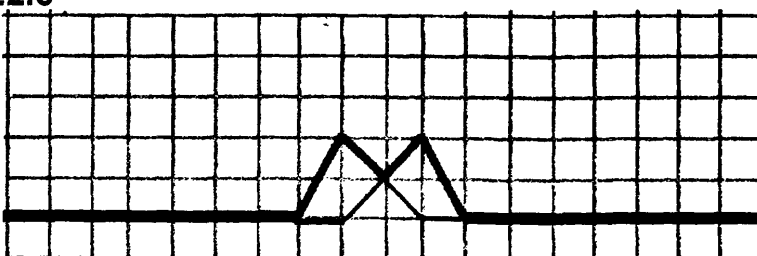
Η σωστή απάντηση είναι αυτή στην οποία φαίνεται αλγεβρική πρόσθεση των μετάτοπίσεων κάθε παλμού, σημείο προς σημείο (σχήμα 2.2.5).

Σχήμα 2.2.5



Μόνο το 5% των φοιτητών απάντησε σωστά ενώ το 40% των φοιτητών δεν έδειχνε συμβολή σε παλμούς που κορυφές τους δε συνέπιπταν (σχήμα 2.2.6).

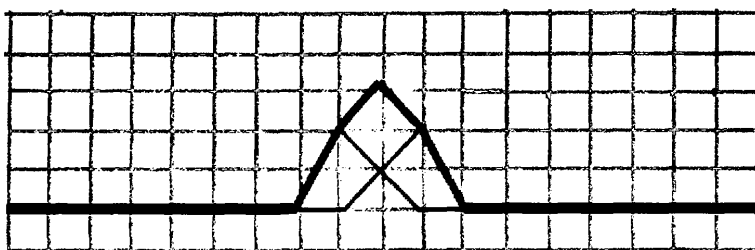
Σχήμα 2.2.6



Μία συνήθης εξήγηση ήταν η εξής: «*Τα κύματα προστίθενται μόνο όταν τα πλάτη συναντούνται.*» Όταν αναφέρουν τον όρο *πλάτος του παλμού* φαίνεται να εννοούν μόνο το σημείο της μέγιστης μετατόπισης.

Άλλοι είχαν πρόβλημα με τη διαδικασία της πρόσθεσης των κυμάτων. Το 20% σχεδίασε την παρακάτω μορφή και δήλωσε ότι τα σημεία της μέγιστης μετατόπισης πρέπει να προστεθούν ακόμα κι αν δεν είναι στην ίδια θέση στο σχοινί (σχήμα 2.2.7). Σε μία εξήγηση αναφέρεται: «*Επειδή οι βάσεις των κυμάτων είναι η μία πάνω στην άλλη, τα πλάτη προστίθενται.*»

Σχήμα 2.2.7

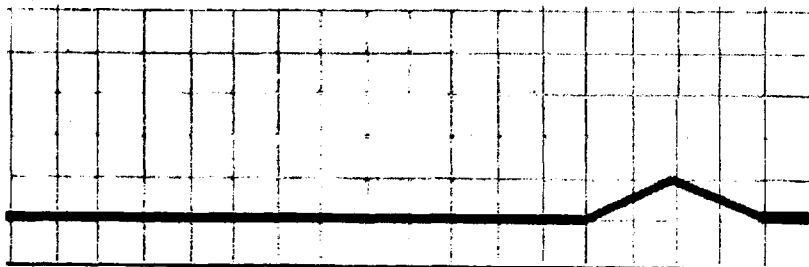


Μία δεύτερη ερώτηση για τη συμβολή κυμάτων προστέθηκε στο ερωτηματολόγιο το χειμερινό εξάμηνο του '97. Στόχος ήταν να ερευνηθεί η κατανόηση των φοιτητών σε περίπτωση όπου οι παλμοί συναντούνται και οι κορυφές συμπίπτουν. Το 53% των φοιτητών περιγράφει τη συμβολή σα να συμβάλουν μόνο τα πλάτη ενώ το 26% απάντά σωστά.

Συμπέρασμα των ερευνητών είναι ότι οι φοιτητές θεωρούν ότι ένας παλμός περιγράφεται μόνο από την κορυφή του και τα υπόλοιπα σημεία δε συμβάλλουν. Δε φαίνεται να θεωρούν τους παλμούς σαν περιοχές διαταραχής στην κατάσταση ισορροπίας.

Σε μία άλλη ερώτηση το χειμερινό εξάμηνο του '95 ζητήθηκε από N=182 φοιτητές να σχεδιάσουν τη μορφή του σχοινιού (σχήμα 2.2.4) σε χρόνο $t=1.2s$. Σωστή απάντηση είναι αυτή που δείχνει ότι οι παλμοί περνάνε ο ένας μέσα από τον άλλο χωρίς καμία μόνιμη αλλαγή στη μορφή τους και δόθηκε από το 55%. Η πιο συνήθης λανθασμένη απάντηση φαίνεται στο σχήμα 2.2.8 και δόθηκε από το 20% των φοιτητών.

Σχήμα 2.2.8



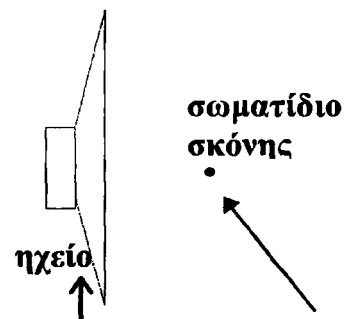
Ένας φοιτητής εξήγησε: «Μέρος του μεγαλύτερου κύματος αναιρείται από το μικρότερο.» Στη συνέχεια εξήγησε ότι σκέφτεται το φαινόμενο σαν κρούση αντικειμένων.

Συμπερασματικά οι ερευνητές^[5] καταλήγουν στο ότι οι σπουδαστές αντιμετωπίζουν δυσκολίες στις ερωτήσεις ανοιχτού τύπου και στις πολλαπλών επιλογών χρησιμοποιούν στοιχεία από διάφορα νοητικά μοντέλα. Οι φοιτητές δεν έχουν σφαιρική γνώση ούτε συνέπεια στις απαντήσεις τους. Χρησιμοποιούν ταυτόχρονα σωστές και λανθασμένες ιδέες ανάλογα με την περίπτωση και την ερώτηση για συγκεκριμένες καταστάσεις.

Οι ίδιοι ερευνητές, Michael C. Wittmann, Richard N. Steinberg, Edward F. Redish, θέλησαν να μελετήσουν το κατά πόσο οι μαθητές διαχωρίζουν την κίνηση του κύματος από την κίνηση του μέσου στο οποίο το κύμα διαδίδεται^[6].

Κάποιοι εξεταζόμενοι έπρεπε να περιγράψουν την κίνηση ενός σωματιδίου σκόνης, το οποίο αρχικά είναι ακίνητο μπροστά από ένα κλειστό ηχείο, όταν το ηχείο τεθεί σε λειτουργία (σχήμα 2.2.9). Θεωρείται ότι οι διαστάσεις του σωματιδίου είναι κατά πολύ μικρότερες από το μήκος κύματος του ηχητικού κύματος. Άλλοι έπρεπε να περιγράψουν την κίνηση μιας φλόγας ενός κεριού που είναι τοποθετημένη σε αρχικά κλειστό ηχείο.

Σχήμα 2.2.9



Οι ερωτήσεις αυτές ήταν μέρος γραπτής εξέτασης αλλά και προφορικής, σε συνεντεύξεις πριν, κατά τη διάρκεια και μετά το μάθημα. Περισσότεροι από 25 φοιτητές έλαβαν μέρος σε συνεντεύξεις, 200 απάντησαν γραπτά πριν το μάθημα και 137 απάντησαν στην ερώτηση σε διαγνωστικό τεστ πριν το μάθημα και 6 εβδομάδες μετά.

Η ορθή απάντηση στην ερώτηση είναι αυτή που αναφέρει ότι το σωματίδιο και η φλόγα θα κάνουν διαμήκη ταλάντωση εξαιτίας της κίνησης του αέρα (μέσο). Συνήθως οι φοιτητές αντιμετωπίζουν το ηχητικό κύμα σαν αντικείμενο το οποίο έχει την ικανότητα να σπρώχνει πράγματα κατά μήκος της διεύθυνσης κίνησής τους^[5] και οι αντιλήψεις τους για το φαινόμενο διαφέρει από μια ανάλυση για μία διαδιδόμενη διαταραχή.

Στη συνέχεια θα γίνει αναφορά σε απαντήσεις φοιτητών στις συνεντεύξεις. Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι οι φοιτητές σκέφτονται με δύο τρόπους όσον αφορά στο σύστημα. Είτε στο πλαίσιο αντικειμένου είτε στο πλαίσιο σειράς γεγονότων, τείνουν

όμως να εστιάζουν στην πρώτη. Εμφανίζουν δυσκολία στο να διακρίνουν την διάδοση ενός ηχητικού κύματος από την κίνηση του μέσου μέσα στο οποίο το κύμα διαδίδεται.

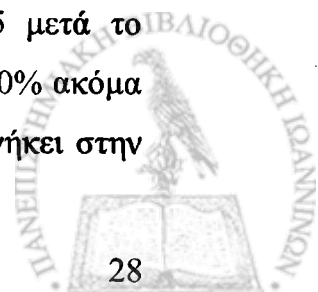
Στη πρώτη σειρά συνεντεύξεων έλαβαν μέρος 6 φοιτητές που είχαν ολοκληρώσει την παρακολούθηση του παραδοσιακού μαθήματος για τα κύματα. Οι 4 στους 6 ανέφεραν την παρακάτω χαρακτηριστική περιγραφή: «Το σωματίδιο σκόνης θα απομακρυνθεί από το ηχείο, ωθημένο από το κύμα, από το ηχητικό κύμα. Εννοώ ότι τα ηχητικά κύματα διαδίδονται στον αέρα πράγμα που σημαίνει ότι ο αέρας κινείται, άρα το σωματίδιο πρέπει να κινείται μαζί με αυτόν τον αέρα που κινείται μακριά από το ηχείο.» Σε ερώτηση του εξεταστή για το πώς κινείται ο αέρας και μεταφέρει το σωματίδιο ο ίδιος φοιτητής απάντησε: «Πρέπει να το σπρώχνει, εννοώ πως αλλιώς μπορεί να το κινήσει;» Στη συνέχεια της συνέντευξης αναφέρει ότι αν η συχνότητα της νότας διπλασιαστεί η ταχύτητα του κύματος θα διπλασιαστεί. Πιστεύει δηλαδή ότι αρχικές συνθήκες για τη δημιουργία του μηχανικού κύματος επηρεάζουν την ταχύτητά διάδοσής του, αντίληψη η οποία έχει παρατηρηθεί σε δύο ακόμα μελέτες^{[1],[5]}.

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη έρευνα^[5] οι ερευνητές χρησιμοποιούν ερωτήσεις ανοιχτού τύπου και πολλαπλών επιλογών. Οι πιθανοί τρόποι κίνησης του σωματιδίου στις ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής ήταν οι εξής:

1. Διαμήκης ταλάντωση (σωστή)
2. Άλλη ταλάντωση
3. Ωθηση μακριά
4. Άλλη

Οι ερευνητές^[6], βασισμένοι στις απαντήσεις σε συνεντεύξεις και σε γραπτές εξετάσεις, διαπίστωσαν ότι το μάθημα με μορφή διάλεξης είχε μικρή επίδραση στην κατανόηση των φοιτητών.

Το εαρινό εξάμηνο του '96 N=104 μηχανικοί ρωτήθηκαν πριν το μάθημα φυσικής για την κίνηση του σωματιδίου σκόνης (σχήμα 2.2.9). Το 45% πιστεύει ότι το σωματίδιο θα ωθηθεί μακριά από το ηχείο παρασυρόμενο από το ηχητικό κύμα ενώ μόνο το 14% απαντά σωστά ότι θα εκτελέσει διαμήκη ταλάντωση και το 24% κατατάσσεται στην τέταρτη κατηγορία. Το χειμερινό εξάμηνο του '95 μετά το μάθημα, από N=96 φοιτητές το 24% έδωσε τη σωστή απάντηση ενώ το 40% ακόμα πιστεύει ότι το σωματίδιο θα ωθηθεί μακριά από το ηχείο και το 14% ανήκει στην τέταρτη κατηγορία.



Το χειμερινό εξάμηνο του '97 οι ερευνητές έθεσαν πάλι στους φοιτητές την ερώτηση πριν το μάθημα, μετά τις διαλέξεις και μετά από τις διαλέξεις και το ειδικά τροποποιημένο μάθημα. Πριν το μάθημα μόνο το 9% απαντά σωστά ενώ το 50% περιορίζεται σε περιγραφές όπου το ηχητικό κύμα σπρώχνει και χτυπά το σωματίδιο ωθώντας το μακριά από το ηχείο σε ευθεία ή ημιτονοειδή τροχιά. Το ποσοστό των σωστών απαντήσεων αυξάνεται μετά τις διαλέξεις σε 26% αλλά το 39% ακόμα πιστεύει ότι κύμα ωθεί το σωματίδιο μακριά. Μετά και το ειδικά σχεδιασμένο μάθημα το 45% των φοιτητών απαντά σωστά ότι το σωματίδιο θα εκτελέσει διαμήκη ταλάντωση ενώ μόνο το 11% μιλά για ώθηση του σωματιδίου.

Οι ερευνητές πιστεύουν^[6] ότι οι φοιτητές σκέφτονται με διάφορους τρόπους για μία κατάσταση. Αυτό φαίνεται από το γεγονός ότι σε παρόμοιες ερωτήσεις, για έναν ειδικό, οι φοιτητές δεν απαντούν με συνέπεια. Ένα είδος ερώτησης μπορεί να προκαλέσει συλλογισμούς στους οποίους το κύμα αντιμετωπίζεται σαν αντικείμενο ενώ σε άλλες σαν κύμα. Κατά τους ερευνητές ένα ειδικά σχεδιασμένο εκπαιδευτικό υλικό, που βασίζεται σε έρευνες, μπορεί να βοηθήσει αρκετά στο να αποκτήσουν οι φοιτητές τον ζητούμενο βαθμό κατανόησης.

2.3 Το Μοντέλο του «Σωματιδιακού Παλμού»

Όταν οι φοιτητές αντιμετωπίζουν τις ίδιες δυσκολίες σε ένα τομέα της Φυσικής, δίνεται η ευκαιρία στους ερευνητές να τις οργανώσουν. Αυτό μπορεί να είναι παραγωγικό για τη διδασκαλία και την έρευνα σε άλλους τομείς της Φυσικής.

Για να περιγράψουν οι ερευνητές^[5] τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι φοιτητές με τα κύματα, οργανώσανε τα δεδομένα στα πλαίσια ενός νοητικού μοντέλου (mental model). Γενικά όταν ένας φοιτητής καλείται να δώσει μια απάντηση, οδηγείται σε αυτή μέσω διάφορων νοητικών διεργασιών. Όταν αυτές είναι κάθε φορά ίδιες για συγκεκριμένες καταστάσεις, τότε μπορούν να αποτελέσουν στοιχεία ενός νοητικού μοντέλου. Το μοντέλο αυτό φανερώνει έναν τρόπο σκέψης, αλλά όχι όμως και το μοναδικό.

Κατά την κατηγοριοποίηση των απαντήσεων των φοιτητών, οι ερευνητές^[5] αναγνώρισαν ενδείξεις για την ύπαρξη ενός μοντέλου που οι ίδιοι προτείνουν και ονομάζουν «Νοητικό Μοντέλο Σωματιδιακού Παλμού» για τα κύματα. Εξηγήσεις φοιτητών, τις οποίες οι μελετητές εντάσσουν σ' αυτό τα μοντέλο σκέψης,

περιλαμβάνουν λανθασμένη χρήση των εννοιών δύναμη και ενέργεια και αδυναμία στο να εστιάσουν σε χαρακτηριστικά του κύματος. Αυτοί οι φοιτητές δημιουργούν αναλογίες με τη Νευτώνεια Μηχανική που εφαρμόζεται σε κινήσεις υλικών σημείων.

Πιο συγκεκριμένα οι φοιτητές, που χρησιμοποιούν κατά τους ερευνητές^[5] αυτό τον τρόπο σκέψης, όταν αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της διάδοσης ενός κύματος κάνουν αναλογίες με τη φυσική που διέπει τη βολή ενός αντικειμένου. Έτσι ερμηνεύεται η πεποίθηση πολλών φοιτητών ότι μεγαλύτερη δύναμη κατά τη δημιουργία ενός παλμού προκαλεί μεγαλύτερη ταχύτητα ή ότι ένας παλμός με περισσότερη ενέργεια και αναλλοίωτο σχήμα κινείται πιο γρήγορα.

Σε συνεντεύξεις^[5] πολλοί φοιτητές δήλωσαν ότι τα κύματα ασκούν μία δύναμη στο μέσο και το σπρώχνουν κατά τη διάδοσή τους, ακριβώς όπως ένας σέρφερ. Αυτή η εξήγηση είναι συνήθης όταν γίνεται περιγραφή ενός ηχητικού κύματος στον αέρα.

Επίσης όπως αναφέρθηκε στην ερώτηση για τη συμβολή φαίνεται οι φοιτητές κάνουν την απλούστευση και περιγράφουν το κύμα σε σχέση με ένα μόνο σημείο (συνήθως την κορυφή) ή αναφέρουν ότι κύματα τα οποία συμβάλουν συγκρούονται^[5].

Στην ίδια δημοσίευση^[5] οι ερευνητές αναφέρουν ότι οι φοιτητές δεν είναι συνέπεις στον τρόπο σκέψης τους. Αντιθέτως χρησιμοποιούν στοιχεία από παραπάνω από ένα νοητικά μοντέλα και αυτό εξαρτάται από το βαθμό κατανόησης και την ερώτηση που τους τίθεται. Όπως διαπιστώθηκε πολλοί απαντούν λανθασμένα στις ερωτήσεις ανοιχτού τύπου, χρησιμοποιώντας αυθόρμητες εξηγήσεις, ενώ στις ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής αναγνωρίζουν σωστή απάντηση. Δεν έχουν λοιπόν τη δυνατότητα να ανακαλέσουν το σωστό μοντέλο φυσικής, για κάθε περίπτωση, αλλά μπορούν να το αναγνωρίσουν όταν τους δοθεί.

Συμπερασματικά οι ερευνητές αναφέρουν δύο λόγους για τους οποίους πρέπει να γίνεται χρήση του «Μοντέλου του Σωματιδιακού Παλμού» κατά τη μελέτη των δυσκολιών που αντιμετωπίζουν οι σπουδαστές με τα μηχανικά κύματα. Πρώτον οργανώνοντας τις απαντήσεις λαμβάνουμε υπ' όψιν το πώς οι φοιτητές προσεγγίζουν τα μαθήματα. Έτσι είναι πιο εύκολο να «διαγνωστεί» τι είδους μαθητές υπάρχουν στην τάξη και να αντιμετωπιστούν οι δυσκολίες τους. Δεύτερον εμβαθύνοντας στον τρόπο σκέψης των φοιτητών, μπορούμε να κατανοήσουμε πιο εύκολα τις δυσκολίες τους σε άλλους τομείς της Φυσικής.

Παρακάτω παρατίθεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας 2.3.1 των ερευνητών^[5] για τα νοητικά μοντέλα τα οποία χρησιμοποιούν οι φοιτητές:



Πίνακας 2.3.1

Μοντέλο Νευτώνειου Σωματιδίου	Μοντέλο Σωματιδιακού Παλμού	Απλοποιημένο Μοντέλο Κύματος
Πιο δυνατή βολή συνεπάγεται γρηγορότερο σωματίδιο	Πιο δυνατό τίναγμα καρπού συνεπάγεται γρηγορότερο παλμό	Η ταχύτητα του κύματος εξαρτάται μόνο από την αντίδραση του μέσου στη διαταραχή
Τα μικρότερα σώματα είναι πιο εύκολο να τα πετάξει κάποιος και να αποκτήσουν μεγαλύτερη ταχύτητα	Μπορούν να δημιουργηθούν μικρότεροι παλμοί οι οποίοι κινούνται πιο γρήγορα	Το μέγεθος του παλμού και ο τρόπος δημιουργίας του κύματος δεν επηρεάζουν την ταχύτητα του κύματος
Χρησιμοποιείται το κέντρο μάζας του σώματος κατά την περιγραφή της κίνησής του (τροχιά)	Χρησιμοποιείται μόνο η κορυφή του κύματος κατά την περιγραφή της συμβολής	Πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν όλο το σχήμα του παλμού για την περιγραφή των ιδιοτήτων του (συμβολή)
Σώματα συγκρούονται και η κίνησή τους αλλάζει	Παλμοί συγκρούονται και ακυρώνουν ο ένας τον άλλο ή αναπηδούν	Τα κύματα περνούν το ένα μέσα από το άλλο με καμία μόνιμη αλλαγή

Κεφάλαιο 3: Έρευνα

3.1 Εισαγωγή

Στόχος της παρούσας έρευνας είναι διερεύνηση των αντιλήψεων των φοιτητών στα μηχανικά κύματα. Θα μελετηθούν οι δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι φοιτητές με τη διάδοση ενός παλμού σε σχοινί, με τα ηχητικά κύματα και τη διάδοσή τους στον αέρα, όπως επίσης και με τη συμβολή παλμών σε σχοινί. Εργαλείο της έρευνας είναι το ερωτηματολόγιο: «Διαγνωστικό Τεστ στα Κύματα του Πανεπιστημίου του Μέριλαντ».

Με τις επτά ερωτήσεις του ερωτηματολογίου γίνεται προσπάθεια να αποκαλυφθούν οι δυσκολίες των φοιτητών όταν μελετούν τα φαινόμενα που προαναφέρθηκαν. Στη συνέχεια διερευνάται κατά πόσο συγκεκριμένες παρανοήσεις που αναφέρονται στη βιβλιογραφία είναι κοινές μεταξύ των απαντήσεων των φοιτητών. Από τις ίδιες πηγές της βιβλιογραφίας διαπιστώνεται ότι ορισμένοι φοιτητές στην προσπάθειά τους να περιγράψουν τη διάδοση ενός μηχανικού κύματος κάνουν αναλογίες με την κίνηση ενός υλικού σημείου.

Πιο συγκεκριμένα στην παρούσα έρευνα στις ερωτήσεις 1, 3, 5 και 7 ζητείται από τους φοιτητές να σκεφτούν τρόπους με τους οποίους μπορούμε να μεταβάλλουμε την ταχύτητα διάδοσης ενός μηχανικού κύματος (παλμού σε σχοινί και ηχητικού κύματος). Η πρώτη παρανόηση είναι ότι μία μεταβολή στις αρχικές συνθήκες που περιγράφουν τη δημιουργία του μηχανικού κύματος μπορεί να μεταβάλει την ταχύτητα διάδοσης του. Με τις ερωτήσεις 2 και 4 θα διαπιστωθεί αν και πόσοι φοιτητές πιστεύουν ότι το ηχητικό κύμα κατά τη διάδοσή του μπορεί να ασκήσει δύναμη στο μέσο, όπως όταν ένα αντικείμενο που κινείται μπορεί να ασκήσει δύναμη σε κάποιο εμπόδιο που συναντά. Τέλος με την ερώτηση 6 θα ερευνηθεί αν γίνεται απλοποίηση κατά τη περιγραφή του κύματος δηλαδή αντί να αντιμετωπίζεται το κύμα συνολικά σε μια διαταραχή η οποία διαδίδεται δίνεται έμφαση σε σημεία του κύματος όπως η κορυφή του.

3.2 Δείγμα

Στην έρευνα αυτή έλαβαν μέρος 51 φοιτητές του τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων οι οποίοι παρακολούθησαν το μάθημα Κυμάνσεις. Αυτό το μάθημα διδάσκεται στο τρίτο εξάμηνο φοίτησης και η έρευνα πραγματοποιήθηκε το χειμερινό εξάμηνο του ακαδημαϊκού έτους 2007-2008.

Το μάθημα έχει τη μορφή διαλέξεων και η ύλη στο μάθημα των Κυμάνσεων μεταξύ άλλων περιλαμβάνει τα εξής: Κύματα στα ελαστικά μέσα, είδη κυμάτων, κυματικά μεγέθη, κυματική εξίσωση, αρμονικά κύματα, συμβολή κυμάτων, στάσιμα κύματα, ταχύτητα διαδόσεως σε διάφορα ελαστικά μέσα, διάδοση κύματος σε διαφορετικά μέσα, ηχητικά κύματα.

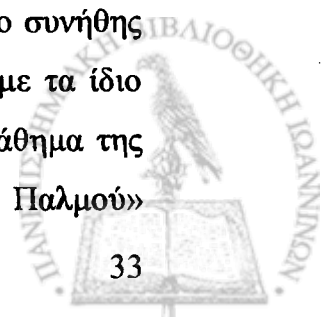
Μετά το τέλος των διαλέξεων για τα κύματα, αρχές Δεκεμβρίου, μοιράστηκε στους φοιτητές το ερωτηματολόγιο (Παράρτημα). Το ερωτηματολόγιο αυτό συντάχθηκε από μία ομάδα εκπαιδευτικής έρευνας στη Φυσική, του Πανεπιστημίου του Μέριλαντ (*University of Maryland Physics Education Research Group*). Έχει χρησιμοποιηθεί σε μελέτες από τους Michael C. Wittmann^{[5],[6],[7]}, Richard N. Steinberg^{[5],[6]}, Edward F. Redish^{[5],[6]}, στο τμήμα Φυσικής του ίδιου Πανεπιστημίου, οι οποίες αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

3.3 Το ερωτηματολόγιο (Παράρτημα)

Το Διαγνωστικό Τεστ στην Κυματική του Πανεπιστημίου του Μέριλαντ συντάχθηκε με σκοπό να ερευνηθούν οι δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι φοιτητές με την κυματική φυσική, σε εισαγωγικό επίπεδο. Πιο συγκεκριμένα τα φαινόμενα που εξετάζονται στο τεστ είναι τα εξής:

- Διάδοση κύματος (μηχανικού σε σχοινί και ηχητικού)
- Συμβολή μηχανικών κυμάτων
- Κίνηση του μέσου στο οποίο το κύμα διαδίδεται
- Ανάκλαση μηχανικού κύματος σε άκρο

Οι ερωτήσεις του τεστ αυτού επιλεχθήκαν έτσι ώστε να αποκαλύπτεται ο συνήθης προβληματικός τρόπος σκέψης των φοιτητών. Σε προηγούμενες έρευνες με τα ίδιο ερωτηματολόγιο υπάρχουν ενδείξεις ότι οι φοιτητές όταν μπαίνουν στο μάθημα της Κυματικής σκέφτονται κυρίως σύμφωνα με το «Μοντέλο Σωματιδιακού Παλμού»



αλλά στη συνέχεια χρησιμοποιούν στοιχεία και από το σωστό μοντέλο φυσικής. Αυτή η σύνθεση μοντέλων φαίνεται να υπάρχει στη σκέψη των φοιτητών στην αντιμετώπιση μίας κατάστασης^[7].

Το σημαντικό σ' αυτό το ερωτηματολόγιο είναι ότι η αρχική του μορφή βασίστηκε σε προηγούμενες έρευνες για τις δυσκολίες των φοιτητών στην κυματική και στη συνέχεια βελτιώθηκε κι εμπλουτίστηκε με επόμενες έρευνες των συγγραφέων. Στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιήθηκε η τελική μορφή του τεστ.

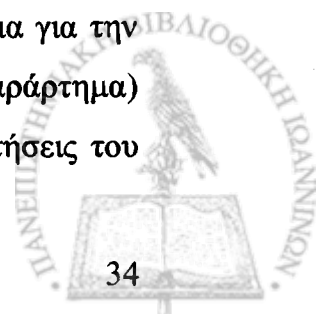
Το τεστ απαρτίζεται από δύο μέρη. Το πρώτο αποτελείται από δύο ερωτήσεις ανοιχτού τύπου, τις οποίες οι φοιτητές θα κληθούν να απαντήσουν και σε μορφή πολλαπλών απαντήσεων, πολλαπλών επιλογών στο δεύτερο μέρος. Το δεύτερο μέρος αποτελείται από πέντε ερωτήσεις εκ των οποίων οι δύο είναι πολλαπλών επιλογών πολλαπλών απαντήσεων. Οι φοιτητές συμπληρώνουν πρώτα το α' μέρος, παραδίδουν τα γραπτά και στη συνέχεια συμπληρώνουν το β' μέρος ώστε να μην αλλάξουν τις απαντήσεις τους αφού διαβάσουν τις ερωτήσεις πολλαπλών επιλογών. Η σύγκριση των απαντήσεων στις ερωτήσεις αυτές μπορεί να οδηγήσει σε βαθύτερη κατανόηση των αντιλήψεων των φοιτητών.

Στις ερωτήσεις ανοιχτού τύπου φαίνεται αν οι φοιτητές μπορούν να ανακαλέσουν το σωστό μοντέλο φυσικής ή αν απαντούν βασισμένοι σε δικές τους ιδέες .

Στις ερωτήσεις πολλαπλών επιλογών του δεύτερου μέρους οι πιθανές απαντήσεις είναι βασισμένες σε συνήθεις λάθος απαντήσεις των φοιτητών κατά τη διάρκεια των συνεντεύξεων. Έτσι φαίνεται αν εμμένουν στο μοντέλο που χρησιμοποίησαν στην ανοιχτού τύπου ερώτηση, δηλαδή αν υπάρχει συνέπεια στη σκέψη τους. Επίσης με τις ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής διαπιστώνεται αν μπορούν να αναγνωρίσουν τη σωστή απάντηση ακόμα κι αν δεν μπορούν να την ανακαλέσουν από μόνοι τους, δηλαδή αν απάντησαν λάθος στην ανοιχτού τύπου ερώτηση.

3.4 Κατηγοριοποίηση των απαντήσεων

Στην αρχή αυτού του κεφαλαίου θα γίνει η καταγραφή των απαντήσεων των φοιτητών στο ερωτηματολόγιο (παράρτημα) και θα συζητηθούν τα κριτήρια για την ταξινόμηση σε κάθε κατηγορία. Στους πίνακες 3.4.1 και 3.4.2 (παράρτημα) κατηγοριοποιούνται όλες οι απαντήσεις και των 51 φοιτητών στις 7 ερωτήσεις του



ερωτηματολογίου και στον πίνακα 3.4.3 (παράρτημα) φαίνεται σε πόσες ερωτήσεις ο κάθε φοιτητής απάντησε σωστά.

Ξεκινώντας την ανάλυση πρέπει να τονιστεί ότι οι απαντήσεις των φοιτητών δεν κατηγοριοποιήθηκαν τυχαία. Η διαδικασία έγινε με βάση τη βιβλιογραφία και τις συνήθεις λάθος απαντήσεις σε προηγούμενες έρευνες ^{[1],[5],[6],[7]}.

Στην πρώτη ερώτηση του ερωτηματολογίου οι φοιτητές καλούνται να απαντήσουν πως θα μπορούσε ένας άνθρωπος να αυξήσει την ταχύτητα ενός παλμού, ο οποίος ταξιδεύει πάνω σε ένα σχοινί. Οι απαντήσεις των φοιτητών στην ερώτηση αυτή, η οποία είναι ανοιχτού τύπου, χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες. Στην κατηγορία *α* τοποθετούνται οι φοιτητές που απαντούν ότι το ζητούμενο αποτέλεσμα επιτυγχάνεται με αλλαγή στην τάση ή και στη γραμμική πυκνότητα του σχοινοῦ. Αυτή είναι και η σωστή απάντηση. Η ταχύτητα του παλμού εξαρτάται μόνο από τις ελαστικές και αδρανειακές ιδιότητες του μέσου.

Επίσης σ' αυτήν την κατηγορία εντάχθηκαν και φοιτητές που απάντησαν όπως ο παρακάτω φοιτητής: «*Ο χρόνος στον οποίο το κύμα θα φτάσει στον τοίχο είναι ίδιος αφού εξαρτάται από το μέσο στο οποίο διαδίδεται το κύμα*». Ο συγκεκριμένος φοιτητής μπορεί να μην αναφέρει την τάση ή την πυκνότητα του σχοινοῦ αλλά γνωρίζει ότι η ταχύτητα εξαρτάται μόνο από ιδιότητες του μέσου συνεπώς κατατάσσεται στην πρώτη κατηγορία.

Μία ακόμα απάντηση στην οποία ο φοιτητής χρησιμοποιεί το σωστό μοντέλο αλλά η απάντησή δεν είναι τόσο συνηθισμένη είναι η εξής: «*Αφού το μέσο είναι το ίδιο η ταχύτητα δεν αλλάζει, άρα να μειωθεί το μήκος του σχοινοῦ*». Κι εδώ δεν αναφέρεται η τάση ή η πυκνότητα αλλά γνωρίζει ότι η ταχύτητα εξαρτάται από το μέσο.

Μερικοί φοιτητές θεώρησαν λανθασμένα ότι μείωση του χρόνου που χρειάζεται ο παλμός για να φτάσει στον τοίχο συνεπάγεται μείωση της ταχύτητας του. Παραδείγματος χάριν μία απάντηση είναι η εξής: «*Η ταχύτητα διάδοσης ενός κύματος εξαρτάται μόνο από το μέσο διάδοσης. Επομένως θα έπρεπε να "αντικαταστήσει" το υλικό (σχοινί) με κάποιο άλλο με μικρότερη ταχύτητα διάδοσης*». Αυτός ο φοιτητής παρά το λάθος που έκανε γνωρίζει ότι η ταχύτητα του παλμού εξαρτάται μόνο από το μέσο κι έτσι τοποθετείται σ' αυτήν την κατηγορία. Όπως θα αναλυθεί παρακάτω, στη συνέχεια του κεφαλαίου, ο σκοπός της ερώτησης είναι να φανεί αν ξέρουν από τι εξαρτάται η ταχύτητα του παλμού κι όχι το ότι μικρότερος χρόνος σημαίνει μεγαλύτερη ταχύτητα.

Στην κατηγορία β τοποθετούνται φοιτητές που απαντούν ότι το ζητούμενο αποτέλεσμα θα επιτευχθεί με αλλαγή στην κίνηση του χεριού ταυτόχρονα με μία αλλαγή στο μέσο. Φαίνεται να χρησιμοποιούν ταυτόχρονα δυο συλλογιστικές πορείες για το φαινόμενο, μια σωστή και μια λανθασμένη. Μία απάντηση αυτής της κατηγορίας είναι η εξής: «Για να μειώσει το χρόνο μπορεί να κουνήσει γρηγορότερα το χέρι του ή $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ να αυξήσει τη δύναμη F να μειώσουμε τη γραμμική πυκνότητα μ ».

Στην κατηγορία γ κατατάσσονται οι φοιτητές που αναφέρονται μόνο στην κίνηση του χεριού. Αυτοί δηλαδή πιστεύουν ότι κάποια αλλαγή στην κίνηση του χεριού του ανθρώπου που κρατά το σχοινί, μπορεί να επηρεάσει την ταχύτητα του κύματος. Σύμφωνα μ' αυτούς λοιπόν, οι αρχικές συνθήκες δημιουργίας του παλμού επηρεάζουν την ταχύτητα διάδοσής του.

Στην τελευταία κατηγορία τη δ , κατατάσσονται οι φοιτητές που δεν τοποθετούνται σε καμία από τις παραπάνω κατηγορίες. Παραδείγματος χάριν: «Ο χρόνος δεν μπορεί να μειωθεί. Ο παλμός πάντα θα φτάνει σε χρόνο t ». Ο συγκεκριμένος φοιτητής δεν αιτιολογεί την απάντησή του συνεπώς δεν μπορεί να μπει σε άλλη κατηγορία. Χαρακτηριστική απάντηση της κατηγορίας δ είναι η εξής: «Πρέπει να αυξήσουμε τη συχνότητα $f=1/T$ άρα μειώνεται η περίοδος άρα μειώνεται ο χρόνος διάδοσης». Ο συγκεκριμένος αναφέρει τους όρους συχνότητα και περίοδος και θεωρεί ότι επηρεάζουν την ταχύτητα του παλμού. Επίσης μπορεί να μιλά για αύξηση συχνότητας αλλά δεν αναφέρει, όπως και η πλειοψηφία της κατηγορίας αυτής, ότι αυτό μπορεί να επιτευχθεί με μία κίνηση του χεριού οπότε δεν μπορεί να συμπεριληφθεί στην κατηγορία γ .

Σ' αυτή την ερώτηση κάποιοι φοιτητές χρησιμοποιούν στις αιτιολογήσεις τους, τους όρους συχνότητα και περίοδος κάτι που θα αναλυθεί στη συνέχεια.

Στη δεύτερη ερώτηση του ερωτηματολογίου οι εξεταζόμενοι πρέπει να περιγράψουν την κίνηση ενός σωματιδίου σκόνης που είναι μπροστά σε ένα κλειστό ηχείο, από τη στιγμή που το ηχείο θα ανοίξει. Η ερώτηση είναι κι αυτή ανοιχτού τύπου. Η απαντήσεις χωρίστηκαν σε πέντε κατηγορίες. Στην α κατατάσσονται αυτοί που απαντούν σωστά ότι το σωματίδιο θα εκτελέσει διαμήκη ταλάντωση.

Όσοι απαντούν ότι το σωματίδιο θα κάνει άλλη ταλάντωση ή απλώς αναφέρουν ότι θα κάνει ταλάντωση χωρίς να διευκρινίζουν κατατάσσονται στην κατηγορία β . Οι περισσότεροι σ' αυτήν την κατηγορία απαντούν όπως ο παρακάτω φοιτητής: «Το

σωματίδιο σκόνης θα κάνει ταλάντωση στην ίδια συχνότητα». Φαίνεται να γνωρίζουν ότι το σωματίδιο θα εκτελέσει ταλάντωση εξαιτίας της κίνησης του αέρα μέσω του οποίου διαδίδεται το κύμα, δηλαδή ο ήχος, και να διακρίνουν την κίνηση του μέσου από την κίνηση του κύματος. Φαίνεται όμως να μη γνωρίζουν τι κίνηση πρέπει να κάνει το σωματίδιο. Το συμπέρασμα αυτό διεξάγεται και σε συνδυασμό με τις απαντήσεις στην ερώτηση 4, κάτι που θα σχολιαστεί παρακάτω.

Επίσης ορισμένοι φοιτητές που απάντησαν όπως ο παρακάτω είναι κι αυτοί σ' αυτήν την κατηγορία, τη β: «Το σωματίδιο θα κινείται πάνω-κάτω με συχνότητα ίση με αυτήν της νότας που εκπέμπεται από το ηχείο». Διακρίνει κι αυτός την κίνηση του ήχου από την κίνηση του μέσου, όμως φαίνεται ότι δε χρησιμοποιεί το σωστό μοντέλο για τη διάδοση του ήχου που είναι ένα διάμηκες κύμα.

Στην επόμενη κατηγορία, τη γ, κατατάσσονται αυτοί που αναφέρουν ότι το σωματίδιο θα ωθηθεί μακριά από το ηχεί εξαιτίας του κύματος ή αναφέρουν ότι απλώς θα απομακρυνθεί.

Στην κατηγορία δ της ίδιας ερώτησης είναι οι φοιτητές που απαντούν με διαφορετικό τρόπο σε σχέση με τα προηγούμενα. Οι περισσότεροι δίνουν απαντήσεις από τις οποίες φαίνεται ότι δεν έχουν κατανοήσει αρκετά ορισμένες έννοιες. Παράδειγμα αποτελεί ο παρακάτω: «Θα εκτελεί διαμήκες κύμα». Όσοι άφησαν την ερώτηση κενή τοποθετούνται στην κατηγορία ε.

Η τρίτη ερώτηση είναι μία ερώτηση πολλαπλών επιλογών. Εξετάζει ότι και η πρώτη, με τη διαφορά ότι τώρα ψάχνουμε τρόπους ώστε ο παλμός να κάνει περισσότερη ώρα για να φτάσει στον τοίχο. Οι φοιτητές λοιπόν, καλούνται να απαντήσουν πως θα μπορούσε ένας άνθρωπος να μειώσει την ταχύτητα ενός παλμού που ταξιδεύει πάνω σε ένα σχοινί. Οι σωστή απάντηση περιλαμβάνει τις επιλογές ε και ζ (Παράρτημα). Από τις επιλογές που προσφέρονται οι ε έως και η η αφορούν το μέσο ενώ οι α έως και η δ μαζί με τις θ, ι αναφέρονται σε κίνηση του χεριού. Η κατηγοριοποίηση των απαντήσεων έγινε όπως και στην πρώτη ερώτηση. Υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες.

Αναλυτικότερα, στην κατηγορία α τοποθετήθηκαν φοιτητές που απάντησαν σωστά σ' αυτήν την ερώτηση, δηλαδή ότι η ταχύτητα του παλμού μειώνεται με τη μείωση της τάσης και την αύξηση της γραμμικής πυκνότητας του σχοινιού επιλογές ε και ζ. Επίσης σ' αυτή την κατηγορία κατατάσσονται φοιτητές που επέλεξαν τη στ ή και την η επιλογή, δηλαδή αύξηση τάσης και μείωση γραμμικής πυκνότητας αντίστοιχα. Οι συγκεκριμένοι πιθανότατα θεώρησαν ότι αύξηση του χρόνου που κάνει ο παλμός να

φτάσει στον τοίχο σημαίνει αύξηση στην ταχύτητα του παλμού. Στο συμπέρασμα αυτό καταλήγουμε από τις απαντήσεις στην πρώτη ερώτηση, που ήταν ανοιχτού τύπου, στην οποία εντοπίστηκε το ίδιο πρόβλημα. Όμως στόχος της ερώτησης είναι να διαπιστωθεί αν οι φοιτητές γνωρίζουν ότι η ταχύτητα του παλμού σε σχοινί εξαρτάται αποκλειστικά από το μέσο. Γι' αυτό τοποθετούνται στην κατηγορία α όσοι απάντησαν στην ερώτηση με συνδυασμό επιλογών μεταξύ των ε έως και τη η (Παράρτημα). Η πλειοψηφία έδωσε τη σωστή απάντηση, επέλεξε τις ε και ζ .

Στη δεύτερη κατηγορία, τη β , τοποθετούνται όσοι απάντησαν επιλέγοντας μία ή περισσότερες από τις α , β , γ , δ , θ και ι μαζί με μία ή περισσότερες από τις ε , $\sigma\tau$, ζ , η (Παράρτημα). Όσοι δηλαδή θεωρούν ότι και αλλαγή στην κίνηση του χεριού και στο μέσο μπορεί να επηρεάσει την ταχύτητα διάδοσης του παλμού.

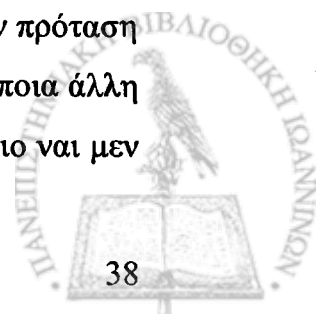
Στην κατηγορία γ περιλαμβάνονται οι φοιτητές που απάντησαν επιλέγοντας μία ή περισσότερες από τις επιλογές α έως δ και θ , ι . Αυτοί πιστεύουν ότι μόνο μία αλλαγή στην κίνηση του χεριού θα επιφέρει το ζητούμενο αποτέλεσμα. Τέλος όσοι είναι στη δ κατηγορία έχουν επιλέξει μόνο την επιλογή κ του ερωτηματολογίου (Τίποτα από τα παραπάνω).

Η τέταρτη ερώτηση του ερωτηματολογίου είναι ερώτηση πολλαπλών επιλογών. Εξετάζει ότι και η δεύτερη ερώτηση με τη διαφορά ότι τώρα οι φοιτητές καλούνται να επιλέξουν τη σωστή απάντηση από έξι πιθανές κινήσεις ή συνδυασμό τους (Παράρτημα).

Ένα σωματίδιο σκόνης είναι τοποθετημένο μπροστά σε ένα κλειστό ηχείο. Το ηχείο τίθεται σε λειτουργία και μεταδίδει μία νότα σταθερής συχνότητας. Οι φοιτητές πρέπει να βρουν ποια πρόταση ή ποιος συνδυασμός από τις δοθείσες προτάσεις μπορεί να περιγράψει την κίνηση του σωματιδίου σκόνης όταν το ηχείο τεθεί σε λειτουργία. Η κατηγοριοποίηση δεν αλλάζει σε σύγκριση με αυτή της δεύτερης ερώτησης του ερωτηματολογίου.

Η σωστή απάντηση στην ερώτηση αυτή είναι η πρόταση γ , στην οποία αναφέρεται ότι το σωματίδιο της σκόνης θα κινηθεί «δεξιά - αριστερά». Το σωματίδιο θα εκτελέσει διαμήκη ταλάντωση. Όσοι φοιτητές επέλεξαν μόνο αυτή τοποθετήθηκαν στην κατηγορία α .

Στην δεύτερη κατηγορία τη β τοποθετούνται οι φοιτητές που επέλεξαν την πρόταση α μαζί με κάποια άλλη (εκτός της πρότασης β) ή την πρόταση γ μαζί με κάποια άλλη (εκτός της πρότασης β). Αυτοί οι φοιτητές λοιπόν, θεωρούν ότι το σωματίδιο ναί μεν θα κάνει ταλάντωση αλλά όχι διαμήκη.



Στην κατηγορία γ κατατάσσονται οι φοιτητές που επέλεξαν την πρόταση β σε συνδυασμό με κάποια άλλη ή μόνο την πρόταση β . Στην πρόταση β αναφέρεται ότι το σωματίδιο θα ωθηθεί μακριά από το ηχείο. Η πρόταση αυτή αποτελεί την πιο κοινή μεταξύ των λάθος απαντήσεων σε προηγούμενες^{[6], [7]} όπως και στην παρούσα.

Στην κατηγορία δ καταχωρούνται οι φοιτητές που επέλεξαν τη $\sigma\tau$, δηλαδή ότι καμία από τις προτάσεις της ερώτησης δεν είναι σωστή και στην κατηγορία ϵ οι φοιτητές που άφησαν την ερώτηση κενή.

Στην πέμπτη ερώτηση του ερωτηματολογίου οι φοιτητές αντιμετωπίζουν πάλι το φαινόμενο της διάδοσης του ήχου στον αέρα αλλά τώρα καλούνται, έμμεσα, να απαντήσουν από ποιους παράγοντες εξαρτάται η ταχύτητα διάδοσής του. Πρωταγωνιστές της ερώτησης είναι δύο παιδιά που στέκονται ακίνητοι σε απόσταση 100m ο ένας από τον άλλο. Φωνάζουν ταυτόχρονα «Γεια» με διαφορετική ένταση σε διαφορετικές συχνότητες και οι φοιτητές πρέπει να απαντήσουν αν θα ακούσει ο ένας τον άλλο ταυτόχρονα ή αν όχι, ποιος θα ακούσει πρώτος ποιον (Παράρτημα).

Στην ερώτηση αυτή, η οποία είναι ανοιχτού τύπου, οι κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται οι απαντήσεις είναι τρεις. Στην α τοποθετούνται αυτοί που απαντούν σωστά ότι θα ακούσουν ο ένας τον άλλο ταυτόχρονα, στη β αυτοί που απαντούν «όχι ταυτόχρονα» με διάφορες αιτιολογήσεις και στη γ αυτοί που αφήνουν την ερώτηση κενή.

Το ζητούμενο της ερώτησης είναι να διερευνηθεί αν γνωρίζουν οι φοιτητές ότι η ταχύτητα διάδοσης του ήχου στον αέρα (στο ακουστικό εύρος συχνοτήτων) δεν εξαρτάται από τις αρχικές συνθήκες δημιουργίας του κύματος (συχνότητα, ένταση φωνής) αλλά μόνο από ιδιότητες του μέσου.

Η κατηγοριοποίηση των απαντήσεων σ' αυτήν την ερώτηση ήταν πιο εύκολη και πιο ξεκάθαρη σε σύγκριση με τις απαντήσεις στις προηγούμενες ερωτήσεις ανοιχτού τύπου (ερωτήσεις 1 και 2). Εδώ θα μπορούσαν να συμβαίνουν δύο πράγματα ή τα παιδιά ακούνε το ένα το άλλο ταυτόχρονα ή όχι. Το πρώτο είναι και η σωστή απάντηση ενώ οι αιτιολογήσεις για να συμβαίνει το δεύτερο οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η ταχύτητα διάδοσης του ήχου εξαρτάται από τη συχνότητα ή και την ένταση. Ο τρόπος εξάρτησης που παρουσιάζεται δεν είναι το ζητούμενο αυτής της ερώτησης. Γι' αυτό και δεν μπαίνουν σε διαφορετικές κατηγορίες αυτοί που απάντησαν ότι πρώτος ο Μιχάλης θα ακούσει τη Άννα και αυτοί που απάντησαν το αντίστροφο.

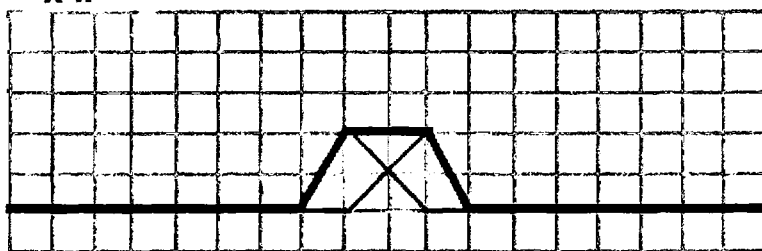


Δύο παραδείγματα λανθασμένων απαντήσεων σ' αυτήν την ερώτηση δίνονται παρακάτω: «Από τη σχέση $u=\lambda \cdot f$ και λόγω του ότι ο Μιχάλης έχει πιο χαμηλή συχνότητα, ο Μιχάλης θ' ακούσει πρώτος την Άννα και μετά η Άννα τον Μιχάλη». Εδώ λοιπόν ο φοιτητής φαίνεται να θεωρεί ότι χαμηλότερη συχνότητα σημαίνει μικρότερη ταχύτητα. Ο επόμενος φοιτητής καταλήγει στο αντίθετο συμπέρασμα: «Η Άννα... (θα ακούσει πρώτη εννοεί). Το κύμα του Μιχάλη έχει μεγαλύτερη ενέργεια (ταχύτητα διάδοσης)». Εδώ λοιπόν ο φοιτητής φαίνεται να πιστεύει ότι μεγαλύτερη ένταση σημαίνει μεγαλύτερη ενέργεια άρα και μεγαλύτερη ταχύτητα διάδοσης του κύματος. Και οι δύο καταχωρούνται στην κατηγορία β γιατί θεωρούν ότι η ταχύτητα του κύματος εξαρτάται με κάποιον τρόπο από τις αρχικές συνθήκες δημιουργίας του κύματος.

Η έκτη ερώτηση του ερωτηματολογίου έχει δύο υποερωτήματα. Και στα δύο εξετάζεται η γνώση των φοιτητών για τη συμβολή κυμάτων σε σχοινί. Στο σχήμα του ερωτηματολογίου (Παράρτημα) απεικονίζονται δύο παλμοί, οι οποίοι κινούνται ο ένας προς τον άλλο με ταχύτητα ίδιου μέτρου. Στο πρώτο υποερώτημα οι φοιτητές πρέπει να σχεδιάσουν τη μορφή που θα έχει το σχοινί την $t=0,05s$ και στο δεύτερο την $t=0,06s$. Οι χρόνοι αυτοί, όπως θα αναλυθεί στην ανάλυση της ερώτησης παρακάτω, δεν είναι τυχαίοι. Στις δύο χρονικές στιγμές οι παλμοί συναντιούνται και συμβάλουν.

Η σωστή απάντηση στο υποερώτημα α είναι αυτή που φαίνεται στο σχήμα 3.4.1. Η μορφή του σχοινοῦ φαίνεται με την πιο έντονη γραμμή. Όσοι απάντησαν

Σχήμα 3.4.1



σωστά εντάχθηκαν στην κατηγορία α . Όσοι από τους φοιτητές σχεδίασαν τους παλμούς να μην στη σωστή θέση αλλά δε σχεδίασαν τη μορφή που θα έχει το σχοινί είναι στην κατηγορία β . Αυτοί οι φοιτητές δε δείχνουν ότι οι δύο παλμοί μόλις συναντηθούν συμβάλουν.

Όσοι είναι στην κατηγορία γ έχουν σχεδιάσει τη μορφή του σχοινοῦ δείχνοντας ότι οι παλμοί συμβάλουν αλλά με λάθος τρόπο. Δεν εφαρμόζουν την αρχή της επαλληλίας κατά την οποία η συνολική διαταραχή σε ένα συγκεκριμένο σημείο ισούται με το άθροισμα των επιμέρους διαταραχών.



Στην κατηγορία δ τοποθετούνται φοιτητές οι οποίοι, όπως και στη γ , σχεδίασαν τους παλμούς να συμβάλλουν με λάθος τρόπο. Η διαφορά με την κατηγορία γ είναι ότι στη δ όλοι σχεδίασαν τις κορυφές των παλμών να συμβάλλουν παρόλο που δε συμπίπτουν. Απαντήσεις αντίστοιχες με αυτές των φοιτητών σ' αυτήν την κατηγορία έχουν καταγραφεί και σε άλλες έρευνες.

Όσοι έκαναν λάθος υπολογισμούς, με αποτέλεσμα οι παλμοί που σχεδίασαν να μη συνευρίσκονται, κατατάσσονται στην κατηγορία ϵ και στην τελευταία κατηγορία τη στ είναι όλοι όσοι άφησαν την ερώτηση κενή.. Σ' αυτές τις δύο περιπτώσεις δεν μπορεί να εξαχθεί κανένα συμπέρασμα για τις γνώσεις των φοιτητών στη συμβολή κυμάτων.

Όσοι σχεδίασαν σωστά τη συμβολή των παλμών στο δεύτερο υποερώτημα της έκτης ερώτησης καταχωρούνται στην κατηγορία α . Όσοι σχεδίασαν τους δύο παλμούς στη σωστή θέση αλλά όχι τη μορφή του σχοινιού τοποθετήθηκαν στη β . Αυτοί που έδειξαν ότι οι παλμοί συμβάλλουν αλλά με λάθος τρόπο μπήκαν στην κατηγορία γ . Όσοι έκαναν λάθος υπολογισμούς με αποτέλεσμα οι παλμοί να μη συμπίπτουν τοποθετήθηκαν στην κατηγορία δ και τέλος στην κατηγορία ϵ καταχωρήθηκαν δε συμπλήρωσαν την ερώτηση.

Η ερώτηση 7 όπως και η προηγούμενη έχει δύο υποερωτήματα. Με το πρώτο ερευνάται πάλι το αν οι φοιτητές γνωρίζουν από ποιους παράγοντες εξαρτάται η ταχύτητα του ήχου στον αέρα. Πιο συγκεκριμένα έχουμε τη δημιουργία ενός ηχητικού κύματος από το χτύπημα των χεριών ενός ανθρώπου μέσα σε μία σπηλιά. Ο άνθρωπος λίγο μετά το χτύπημα ακούει την ηχώ. Στην περίπτωση που χτυπούσε τα χέρια του πιο δυνατά, οι φοιτητές καλούνται να απαντήσουν πως θα άλλαζε, αν αλλάζει, ο χρόνος που χρειάζεται για να ακούσει την ηχώ.

Σωστή απάντηση θεωρείται αυτή στην οποία αναφέρεται ότι ο χρόνος δεν αλλάζει. Η ταχύτητα του ηχητικού κύματος δεν εξαρτάται από τις αρχικές συνθήκες δημιουργίας του κύματος. Όσοι απάντησαν κατ' αυτόν τον τρόπο συμπεριλαμβάνονται στην κατηγορία α .

Όσοι ισχυρίστηκαν ότι ο χρόνος θα αλλάξει, κατατάσσονται στην κατηγορία β . Ένα παράδειγμα απάντησης σ' αυτήν την κατηγορία είναι η εξής: «Ο χρόνος θα μειωνόταν μεγαλύτερη ενέργεια στο κύμα σημαίνει και μεγαλύτερη ταχύτητα διάδοσης!».

Στην κατηγορία γ τοποθετήθηκαν φοιτητές οι οποίοι δεν έδωσαν σαφής απαντήσεις ή δεν κατάλαβαν το ζητούμενο της ερώτησης. Όπως: «Ακούει την ηχώ πιο δυνατά» ή



«Θα αυξηθεί η ένταση και θα ακουστεί πιο οξύς ο ήχος λόγω της αύξησης της συχνότητας». Στην τελευταία κατηγορία τη δ κατατάσσονται οι φοιτητές οι οποίοι δε συμπλήρωσαν το υποερώτημα.

Το δεύτερο υποερώτημα της τελευταίας ερώτησης του ερωτηματολογίου (Παράρτημα) ζητά από τους φοιτητές να περιγράψουν την κίνηση που θα κάνει ένα σωματίδιο σκόνης από τη στιγμή που ο άνθρωπος χτυπά τα χέρια του μέχρι τη στιγμή που ακούει την ηχώ. Το σωματίδιο αιωρείται στον αέρα πολύ κοντά στον τοίχο (0,1 mm). Πρέπει δηλαδή οι φοιτητές να περιγράψουν την κίνηση του τμήματος του μέσου (σωματίδιο σκόνης) στο σημείο όπου το ηχητικό κύμα ανακλάται.

Όσοι από τους φοιτητές απάντησαν σωστά ότι το σωματίδιο θα μείνει ακίνητο κατατάσσονται στην α κατηγορία. Όσοι θεώρησαν ότι το σωματίδιο θα κάνει ταλάντωση πάνω κάτω ή δεξιά αριστερά είναι στη β κατηγορία. Οι υπόλοιποι που δεν καταχωρήθηκαν στις παραπάνω κατηγορίες αποτελούν την κατηγορία γ . Παραδείγματα αυτής της κατηγορίας αναφέρονται παρακάτω: «*Εγκάρσιο κύμα*» ή «*Ευθύγραμμη ομαλά επιβραδυνόμενη*». Οι φοιτητές σ' αυτήν την κατηγορία ή ανέφεραν ότι το σωματίδιο θα κάνει κάποια άλλη κίνηση ή έδιναν απαντήσεις στις οποίες ήταν σαφές ότι δεν μπορούσαν να κάνουν ορθή χρήση φυσικών εννοιών. Τέλος όσοι άφησαν την ερώτηση κενή τοποθετούνται στην κατηγορία δ .

Κλείνοντας την ενότητα αυτή παρουσιάζεται ο παρακάτω πίνακας 3.4.4 στον οποίο καταγράφονται οι παρανοήσεις και οι ερωτήσεις στις οποίες αυτές παρουσιάζονται.

Πίνακας 3.4.4

Παρανοήσεις	Ερωτήσεις						
	1	2	3	4	5	6	7
Οι αρχικές συνθήκες δημιουργίας κύματος επηρεάζουν την ταχύτητα διάδοσής του	×		×		×		×
Το κύμα ασκεί δύναμη στο μέσο κατά τη διάδοσή του		×		×			
Περιγραφή κύματος μόνο από ένα σημείο						×	

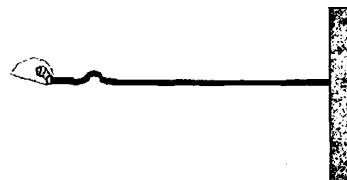
3.5 Ανάλυση των ερωτήσεων

Σ' αυτό το μέρος του κεφαλαίου θα γίνει λεπτομερής ανάλυση των απαντήσεων των φοιτητών σε κάθε μία ερώτηση του ερωτηματολογίου ξεχωριστά. Όπως έχει προαναφερθεί το ερωτηματολόγιο αποτελείται από δύο μέρη. Στο πρώτο (Α) μέρος περιέχονται δύο ερωτήσεις ανοιχτού τύπου. Στο δεύτερο μέρος πέντε ερωτήσεις εκ των οποίων οι δύο πρώτες είναι σχεδόν ίδιες με αυτές του Α μέρους, αλλά δίνονται σε μορφή πολλαπλών επιλογών.

Στους φοιτητές δόθηκε πρώτα το Α' μέρος κι αφού ολοκλήρωσαν τις απαντήσεις τους και παρέδωσαν τα γραπτά, τους δόθηκε το δεύτερο μέρος του ερωτηματολογίου. Μ' αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται ότι οι απαντήσεις τους στις ερωτήσεις ανοιχτού τύπου είναι προϊόν δικής τους σκέψης κι όχι κάποια απάντηση από τις δοθείσες στις ερωτήσεις πολλαπλών επιλογών.

3.6 Πρώτη Ερώτηση

Η πρώτη ερώτηση του ερωτηματολογίου είναι η εξής:
«Ένας άνθρωπος κρατά τεντωμένο ένα μακρύ σχοινί και κουνώντας γρήγορα το χέρι του πάνω-κάτω δημιουργεί έναν παλμό, ο οποίος ταξιδεύει προς τον τοίχο στον οποίο είναι στερεωμένο το σχοινί. Ο παλμός φτάνει στον τοίχο σε χρόνο t_0 (βλέπε σχήμα).



Πώς θα μπορούσε ο άνθρωπος να μειώσει τον χρόνο που χρειάζεται ο παλμός για να φτάσει στον τοίχο; Εξηγήστε.»

Αυτή η ερώτηση η οποία είναι ανοιχτού τύπου δίνει τη δυνατότητα στους ερωτώμενους να εκφράσουν ελεύθερα τις απόψεις τους και με όποιες διευκρινίσεις αυτοί θεωρούν απαραίτητες.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στη συγκεκριμένη ερώτηση αυτό που διαδίδεται στο τεντωμένο σχοινί είναι ένας παλμός. Δεν επιδεικνύεται μία συνεχής διαδοχή εγκάρσιων ημιτονοειδών κυμάτων που προχωρά κατά μήκος του σχοινοῦ.

Συνήθως στην κυματική τα περισσότερα παραδείγματα αναφέρονται σε αρμονικά κύματα και όχι παλμοί. Ζητώντας από τους φοιτητές να αναλύσουν τις ιδέες τους για



έναν παλμό που διαδίδεται μας επιτρέπει να δούμε πιο ξεκάθαρα τις αντιλήψεις τους για τη διάδοση του κύματος^[7].

Κύμα είναι οποιαδήποτε διαταραχή οποία διαδίδεται, από μια περιοχή του χώρου σε μία άλλη με πεπερασμένη ταχύτητα. Κατά την διάδοση ενός κύματος μεταφέρεται ενέργεια από το ένα σημείο του μέσου στο άλλο όχι όμως και ύλη. Στη συγκεκριμένη περίπτωση θεωρούμε ότι έχουμε ένα μέσο στο οποίο δεν υπάρχει διασπορά κι επίσης ότι η παραμόρφωση (απομάκρυνση από τη θέση ισορροπίας) δεν είναι μεγάλη. Το πλάτος του παλμού είναι πάρα πολύ μικρότερο από το μήκος του σχοινιού, είναι λοιπόν μη συγκρίσιμα.

Προηγούμενες έρευνες έχουν δείξει ότι οι σπουδαστές αντιμετωπίζουν δυσκολία στο να διακρίνουν τις αρχικές συνθήκες του συστήματος μέσω του οποίου ένα κύμα διαδίδεται από την ίδια τη διάδοση του κύματος. Φαίνεται ότι δεν μπορούν να διακρίνουν τον τρόπο με τον οποίο το κύμα δημιουργήθηκε από τον τρόπο με τον οποίο το κύμα διαδίδεται κατά μήκος του σχοινιού^[7].

Με τη συγκεκριμένη ερώτηση ερευνάται η γνώση των φοιτητών για τη σχέση μεταξύ της δημιουργίας του παλμού και της διάδοσής του μέσω ενός συστήματος. Σωστή απάντηση στην πρώτη ερώτηση του ερωτηματολογίου είναι εκείνη στην οποία αναφέρεται ότι η ταχύτητα διάδοσης του παλμού εξαρτάται μόνο από την τάση και τη γραμμική πυκνότητα του σχοινιού. Για να μειωθεί ο χρόνος που χρειάζεται ο παλμός για να φτάσει στον τοίχο πρέπει να αυξηθεί η ταχύτητα του. Αρκεί λοιπόν, να αυξήσουμε την τάση (με το ίδιο σχοινί) ή να αντικαταστήσουμε το σχοινί με ένα άλλο ίδιου μήκους με μικρότερη γραμμική πυκνότητα (υπό την ίδια τάση).

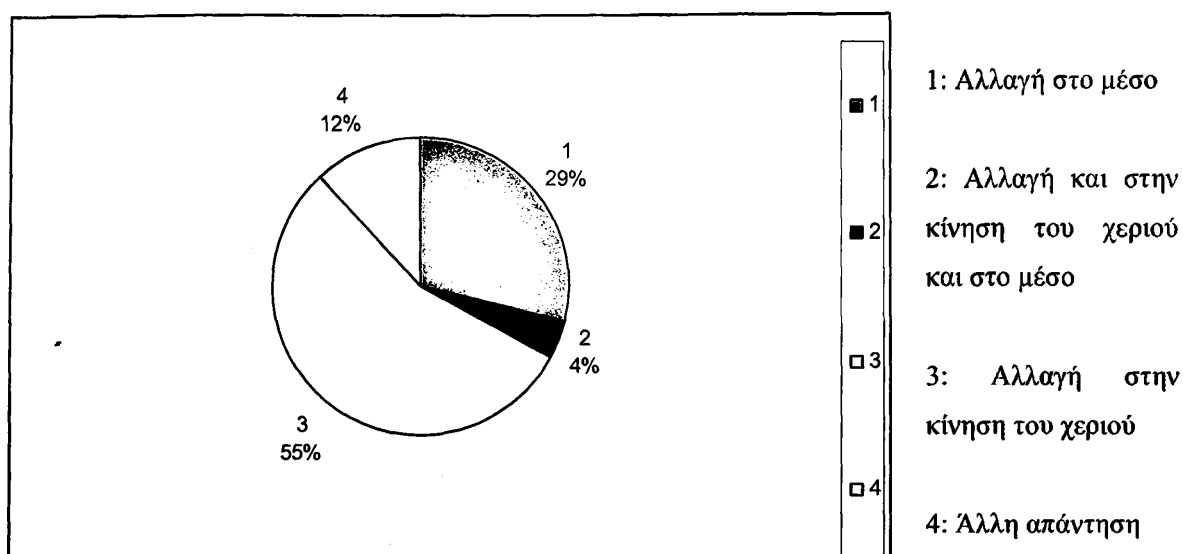
Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή του κεφαλαίου οι φοιτητές ανάλογα με τις απαντήσεις τους στην πρώτη ερώτηση του ερωτηματολογίου χωρίστηκαν σε 4 κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία τοποθετήθηκαν όλοι αυτοί που πιστεύουν ότι η αλλαγή στο μέσο θα φέρει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Στη δεύτερη όσοι συμπεριλαμβάνουν και κινήσεις του χεριού μαζί με κάποια αλλαγή στο μέσο, στην τρίτη αυτοί που αναφέρουν μόνο κάποια αλλαγή στην κίνηση του χεριού κατά τη δημιουργία του παλμού και στην τέταρτη κατηγορία κατατάσσονται όλες οι υπόλοιπες απαντήσεις.

Στον παρακάτω πίνακα 3.6.1 φαίνονται τα ποσοστά επί τοις εκατό για το συγκεκριμένο δείγμα των 51 φοιτητών καθώς και το αντίστοιχο γράφημα 3.6.1

Πίνακας 3.6.1

Η ταχύτητα αλλάζει λόγω αλλαγής:	N=51
α) στο μέσο	29%
β) στην κίνηση του χεριού και στο μέσο	4%
γ) στην κίνηση του χεριού	55%
δ) άλλη	12%

Γράφημα 3.6.1



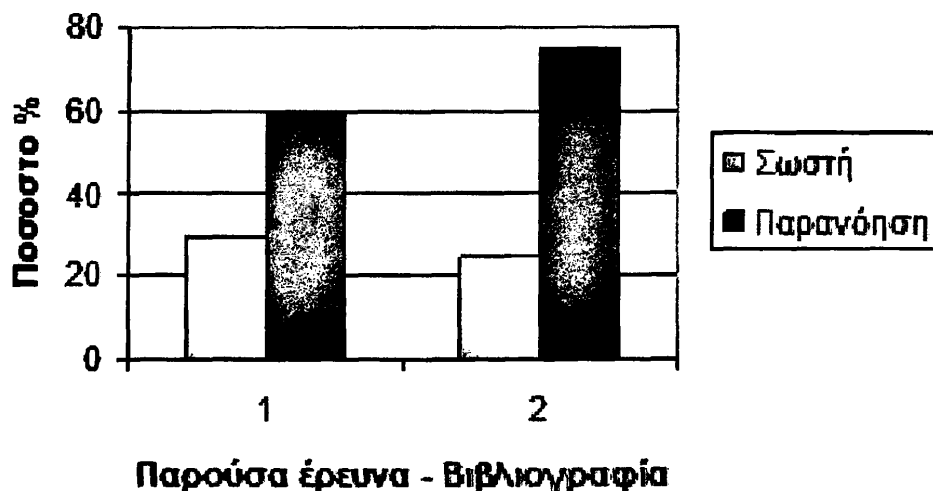
Σε 51 φοιτητές λοιπόν μετά τις παραδόσεις, υπό τη μορφή διαλέξεων, για τα κύματα, το 29% απαντά σωστά στην ερώτηση. Πρέπει να τονιστεί, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω στην κατηγοριοποίηση, ότι οι απαντήσεις που θεωρήθηκαν σωστές ήταν αυτές στις οποίες ήταν απόλυτα σαφές ότι ο φοιτητής γνωρίζει τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η ταχύτητα διάδοσης του παλμού. Όσοι δηλαδή ανέφεραν ότι η ταχύτητα διάδοσης του παλμού εξαρτάται από τις ελαστικές και αδρανειακές ιδιότητες του μέσου.

Ένα παράδειγμα σωστής απάντησης ήταν η εξής: «Ο παλμός θα μπορούσε να κινηθεί με μεγαλύτερη ταχύτητα εάν είχαμε σχοινί διαφορετικού υλικού. Καθώς εξαρτάται από τη γραμμική πυκνότητα και την τάση.» Μπορεί να μην αναφέρει αν η γραμμική πυκνότητα του σχοινιού πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη αλλά ο

συγκεκριμένος φοιτητής γνωρίζει από ποιους παράγοντες εξαρτάται η ταχύτητα διάδοσης του παλμού. Σε μια άλλη ενδιαφέρουσα σωστή απάντηση ο φοιτητής προτείνει να μειωθεί το μήκος του σχοινιού αφού το μέσο είναι το ίδιο άρα και η ταχύτητα.

Στην έρευνα της L.Maurines[1] ,που αναφέρθηκε στην αρχή της εργασίας, στην πρώτη ερώτηση του ερωτηματολογίου της, το 25% απάντησε σωστά ότι δεν υπάρχει τρόπος η κίνηση του χεριού κατά τη δημιουργία του παλμού να επηρεάσει την ταχύτητά του. Στο παρακάτω γράφημα 3.6.2 φαίνεται το ποσοστό των απαντήσεων για την παρούσα έρευνα στις στήλες 1 (Σωστή και Παρανόηση) και τα αντίστοιχα ποσοστά για την έρευνα της L.Maurines[1] στις στήλες 2

Γράφημα 3.6.2



Σε έρευνά τους οι Michael C. Wittmann, Richard N. Steinberg, Edward F. Redish^[5], όπως αναφέρθηκε στην αρχή συγκρίνανε τις απαντήσεις 92 φοιτητών με ερωτηματολόγιο πριν και μετά τις παραδόσεις. Στην ίδια ερώτηση το 9% γνώριζε τη σωστή απάντηση πριν τα μαθήματα ενώ μετά το μάθημα το ποσοστό των σωστών ανήλθε στο 50%. Πρέπει να τονιστεί όμως ότι το μάθημα δε συμπεριλάμβανε μόνο παραδόσεις όπως στην περίπτωση της παρούσας έρευνας αλλά όπως το χαρακτηρίζουν ήταν τροποποιημένο. Περιλάμβανε χρήση οπτικοακουστικού υλικού για τη διάδοση κυμάτων^[7].

Παρατηρείται ότι σ' αυτήν την ανοιχτού τύπου ερώτηση είναι πολύ μικρό το ποσοστό των φοιτητών που έδωσε διπλή απάντηση, μία που να αφορά το μέσο και μία την κίνηση του χεριού,. Το ποσοστό είναι μόλις 4% (β κατηγορία) που

μεταφράζεται σε δυο φοιτητές από το δείγμα. Αυτοί λοιπόν χρησιμοποίησαν στην αιτιολόγησή τους και σωστές και λανθασμένες ιδέες όσον αφορά στην ταχύτητα διάδοσης του παλμού.

Μπορεί αν αναφερθεί εδώ το ποσοστό από αντίστοιχη έρευνα. Στην έρευνα των Michael C. Wittmann, Richard N. Steinberg, Edward F. Redish^[5], την ίδια που αναφέρθηκε και παραπάνω, 4% των φοιτητών πριν τις παραδόσεις κατατάσσεται σ' αυτήν την κατηγορία και το 20% μετά και το τροποποιημένο μάθημα.

Οι φοιτητές αυτής της κατηγορίας απαντούν ορθά ότι μία αλλαγή στις ιδιότητες του μέσου έχει σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή της ταχύτητας διάδοσης του παλμού, γνώση που απέκτησαν από το μάθημα, αλλά ισχυρίζονται και ότι μία αλλαγή στην κίνηση του χεριού (π.χ. γρηγορότερη κίνηση) θα προκαλούσε το ίδιο αποτέλεσμα.

Η γρηγορότερη κίνηση του χεριού συμπεριλήφθηκε σε απαντήσεις πολλών φοιτητών γενικά στην ερώτηση αυτή. Το 40% του συνολικού δείγματος αναφέρει ότι γρηγορότερη κίνηση του χεριού θα έχει σαν αποτέλεσμα γρηγορότερο παλμό.

Βασιζόμενη σε ανάλυση από προηγούμενες έρευνες^[7] μπορεί να υποτεθεί το εξής: Αρκετοί φοιτητές μετά τη διδασκαλία για τα κύματα έχουν «μικτή» αντίληψη όσον αφορά στα κύματα. Κάτι που θα φανεί περισσότερο στα ποσοστά στην ερώτηση πολλαπλών επιλογών.

Σύμφωνα με ερευνητές σε προηγούμενες έρευνες^[7], οι φοιτητές για να κατανοήσουν τα νέα αντικείμενα που διδάσκονται προσπαθούν να εφαρμόσουν τις προηγούμενες γνώσεις τους. Βασίζονται στις γνώσεις τους από τη Νευτώνεια Μηχανική για να αιτιολογήσουν τις απαντήσεις του στην Κυματική.

Σύμφωνα με τον Michael C. Wittmann^[7] πολλοί φοιτητές αντιμετωπίζουν τον παλμό που διαδίδεται σε ένα τεντωμένο σχοινί σαν ένα υλικό σημείο (*Object as Point Primitive*). Αυτή η απλοποίηση συμβαίνει όταν οι φοιτητές προσπαθούν να περιγράψουν πως μπορεί να μεταβληθεί η ταχύτητα του παλμού. Φαίνεται να συσχετίζουν τον παλμό με ένα αντικείμενο όπως μια μπάλα. Έτσι γίνονται αναλογίες μεταξύ της κίνησης ενός υλικού σημείου και της διάδοσης ενός παλμού. Γρηγορότερη κίνηση του χεριού σημαίνει γρηγορότερος παλμός, μεγαλύτερη δύναμη κατά τη δημιουργία του παλμού σημαίνει γρηγορότερος παλμός.

Αρκετοί φοιτητές, σ' αυτήν την ερώτηση το 59% (αθροίζοντας κατηγορίες β και γ), πιστεύουν ότι η ταχύτητα του παλμού εξαρτάται από τις αρχικές συνθήκες. Μία αλλαγή στον τρόπο δημιουργίας του παλμού θεωρούν ότι μπορεί να επηρεάσει την ταχύτητά του.

Στη γ κατηγορία κατατάσσονται όσοι δίνουν απαντήσεις που αφορούν μόνο την κίνηση του χεριού. Το ποσοστό αυτής της κατηγορίας είναι 55%. Στις αιτιολογήσεις τους χρησιμοποιήθηκαν διάφορες εξηγήσεις. Κάποιοι στις εξηγήσεις τους αναφέρουν τη δύναμη κατά τη δημιουργία του παλμού και την ταχύτητα του χεριού ως εξής: «Ο άνθρωπος θα μπορούσε να μειώσει το χρόνο δίνοντας μεγαλύτερη ταχύτητα ή δύναμη στην κίνηση». Άλλοι αναφέρουν ότι το πλάτος του παλμού παίζει ρόλο παραδείγματος χάριν: «Μεγαλώνοντας το πλάτος του κύματος (δηλαδή κουνώντας το χέρι πιο ψηλά)». Πάλι, οι αρχικές συνθήκες που καθορίζουν τη δημιουργία του παλμού και το μέγεθός του παίζουν ρόλο στις αιτιολογήσεις των φοιτητών.

Σ' αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι περίπου το 37% των φοιτητών ανέφεραν τη συχνότητα και την περίοδο της ταλάντωσης του χεριού στις εξηγήσεις τους ενώ αναφέρεται ότι το χέρι ανεβοκατεβαίνει μία φορά. Ένα παράδειγμα είναι το εξής: «Μεταβάλλοντας τη συχνότητα ταλάντωσης του χεριού του και συγκεκριμένα αυξάνοντάς την, θα επιτύχει τη μείωση του χρόνου t_0 ». Μία ακόμα ήταν η εξής: «Αν κουνήσει πιο γρήγορα το χέρι του $v = \lambda \cdot f$ μεταβάλλεται η συχνότητα άρα κ η ταχύτητα που διαδίδεται το κύμα για $\lambda = \text{σταθερό}$ »

Αυτό θα μπορούσε να ερμηνευτεί σαν ασάφεια στη διατύπωση της εκφώνησης, ή με επίφυλαξη σαν ένδειξη ότι οι φοιτητές προσπαθούν να προσαρμόσουν την ερώτηση σε κάτι που είναι για αυτούς πιο οικείο όπως μια ταλάντωση του χεριού που προκαλεί ένα εγκάρσιο ημιτονοειδές κύμα. Οι πλειοψηφία των φοιτητών αυτών ανήκουν στην κατηγορία γ αφού ανέφεραν την κίνηση του χεριού ενώ κάποιοι τοποθετήθηκαν στη δ για λόγους που θα αναφερθούν παρακάτω.

Επίσης υπήρχαν κάποιοι που θεώρησαν ότι μείωση στο χρόνο που χρειάζεται ο παλμός για να φθάσει στον τοίχο σημαίνει μείωση στην ταχύτητα του και αιτιολόγησαν τις απαντήσεις τους θεωρώντας το δεδομένο. Αυτό δεν επηρέασε την κατηγοριοποίησή τους καθώς με τη συγκεκριμένη ερώτηση όπως έχει προαναφερθεί εξετάζονται άλλα θέματα. Ένα παράδειγμα είναι το εξής: «Θα πρέπει να κάνει πιο αργές κινήσεις με το χέρι του, έτσι ώστε ο παλμός να ταξιδεύει προς τον τοίχο πιο αργά» Ο συγκεκριμένος φοιτητής τοποθετήθηκε στη γ κατηγορία.

Στην κατηγορία αυτή η πιο συνήθης απάντηση ήταν ότι μία πιο γρήγορη κίνηση του χεριού κατά τη δημιουργία του παλμού (ή πιο αργή γι' αυτούς που μπερδεύτηκαν όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο) μπορεί να προκαλέσει αύξηση της ταχύτητας διάδοσης του παλμού. Στο 55% της γ κατηγορίας το 37% αναφέρει αυτό

ακριβώς, το υπόλοιπο 18% αναφέρει άλλους λόγους όπως ότι το πλάτος επηρεάζει ή «τη δύναμη που βάζουμε» κατά τη δημιουργία του παλμού. Πιστεύουν ότι υπάρχει τρόπος η κίνηση του χεριού κατά τη δημιουργία του παλμού να επηρεάσει την ταχύτητα διάδοσης του παλμού Είναι δύσκολο λοιπόν γι' αυτούς να γίνει διαχωρισμός μεταξύ της ταχύτητας του χεριού και της ταχύτητας διάδοσης του παλμού.

Στην τελευταία κατηγορία τη δ τοποθετούνται οι φοιτητές των οποίων οι απαντήσεις δεν μπορούσαν να τοποθετηθούν σε άλλη κατηγορία. Παράδειγμα αυτής της κατηγορίας αποτελεί ο φοιτητής που απάντησε : «Ο χρόνος δεν μπορεί να μειωθεί. Ο παλμός πάντα θα φτάνει σε χρόνο t_0 .» Από την απάντηση αυτή δεν μπορεί να εξαχθεί κάποιο συμπέρασμα για τις αντιλήψεις του όσον αφορά στους παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα διάδοσης. Σε άλλες απαντήσεις αναφερόταν παραδείγματος χάριν μόνο ότι πρέπει να αυξηθεί η συχνότητα κι αυτό χωρίς να αναφέρουν κάποια κίνηση του χεριού οπότε κι αυτοί τοποθετήθηκαν στη δ κατηγορία.

Επίσης από προηγούμενες έρευνες^[5] όπως και στην παρούσα εργασία φαίνεται ότι οι περισσότεροι φοιτητές χρησιμοποιούν μία εξήγηση στις απαντήσεις στις ανοιχτού τύπου ερωτήσεις. Δίνουν δηλαδή μία μόνο απάντηση. Παραδείγματα φοιτητών που έδωσαν δύο απαντήσεις είναι τα εξής: «1^ο να χρησιμοποιήσει κοντύτερο σχοινί 2^ο αν κουνούσε πιο γρήγορα το χέρι του.» Άλλη απάντηση είναι η εξής: « $v = \sqrt{F/m}$ να μειώσει τη μάζα του σχοινιού (γραμμική πυκνότητα) ή να αυξήσει τη δύναμη.»

Στη συνέχεια θα αναλυθούν οι απαντήσεις των φοιτητών στην ερώτηση 3 η οποία είναι η πρώτη ερώτηση του δεύτερου μέρους του ερωτηματολογίου. Είναι σχεδόν πανομοιότυπη με την ερώτηση 1 με τη διαφορά ότι είναι ερώτηση πολλαπλών επιλογών γι' αυτό κι επιλέγετε να αναλυθεί τώρα.

3.7 Τρίτη Ερώτηση

Η ερώτηση έχει ως εξής:

«Ένας άνθρωπος κρατά τεντωμένο ένα μακρύ σχοινί το οποίο είναι στερεωμένο σε ένα τοίχο (βλέπε σχήμα).

Κουνώντας το χέρι του πάνω-κάτω μόνο μία φορά

δημιουργεί ένα παλμό πολύ μικρού πλάτους, ο οποίος φτάνει στον τοίχο σε χρόνο t_0 .

Απαντήστε, για την ερώτηση που ακολουθεί, ποια από τις δραστηριότητες (α)-(κ) θα προκαλέσει από μόνης της το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Πως, αν αυτό είναι δυνατόν, μπορεί ο άνθρωπος επαναλαμβάνοντας το αρχικό πείραμα να δημιουργήσει έναν παλμό που χρειάζεται περισσότερο χρόνο για να φτάσει στον τοίχο;

Παραπάνω από μία απάντηση μπορεί να είναι σωστές. Αν ισχύει αυτό να τις σημειώσετε όλες.

Κυκλώστε το γράμμα ή τα γράμματα που αντιστοιχούν στη σωστή απάντηση. Εξηγήστε.

Πιθανές απαντήσεις στην ερώτηση:

- α) Να κουνήσει το χέρι του πιο γρήγορα (αλλά πάλι μόνο πάνω-κάτω κατά την ίδια απόσταση και μία φορά).
- β) Να κουνήσει το χέρι του πιο αργά (αλλά πάλι μόνο πάνω-κάτω κατά την ίδια απόσταση και μία φορά).
- γ) Να κουνήσει το χέρι του μεγαλύτερη απόσταση πάνω-κάτω αλλά στον ίδιο χρόνο.
- δ) Να κουνήσει το χέρι του μικρότερη απόσταση πάνω-κάτω αλλά στον ίδιο χρόνο.
- ε) Να χρησιμοποιήσει ένα βαρύτερο σχοινί ίδιου μήκους, υπό την ίδια τάση.
- στ) Να χρησιμοποιήσει ένα ελαφρύτερο σχοινί ίδιου μήκους, υπό την ίδια τάση.
- ζ) Να χρησιμοποιήσει ένα σχοινί ίδιας γραμμικής πυκνότητας αλλά να μειώσει την τάση.
- η) Να χρησιμοποιήσει ένα σχοινί ίδιας πυκνότητας αλλά να αυξήσει την τάση.
- θ) Να βάλει μεγαλύτερη δύναμη στο κύμα.
- ι) Να βάλει μικρότερη δύναμη στο κύμα.
- κ) Τίποτα από τα παραπάνω.»

Εκτός από το γεγονός ότι η ερώτηση αυτή είναι ερώτηση πολλαπλών επιλογών και όχι ανοιχτού τύπου η διαφορά είναι ότι τώρα ο παλμός θέλουμε να κάνει περισσότερο χρόνο για να φτάσει στον τοίχο. Θέλουμε λοιπόν να μειωθεί η ταχύτητα διάδοσης του

παλμού. Η κατηγοριοποίηση των απαντήσεων είναι η ίδια με αυτή της ερώτησης 1, όπως αναφέρθηκε και στην αρχή του κεφαλαίου. Τέσσερις κατηγορίες τα ποσοστά των οποίων, πίνακας 3.7.1, όπως και το αντίστοιχο γράφημα 3.7.1 φαίνονται παρακάτω.

Σωστή θεωρείται η απάντηση η οποία περιλαμβάνει τις επιλογές ε και ζ. Όπως αναφέρθηκε υπήρξαν κάποιοι φοιτητές που δυσκολεύτηκαν με την έκφραση «ο παλμός χρειάζεται περισσότερο ή λιγότερο χρόνο». Και πάλι θα τονιστεί ότι το ζητούμενο και αυτής της ερώτησης είναι οι αντιλήψεις των φοιτητών για τη διάδοση του παλμού. Με αυτό το σκεπτικό σωστές θεωρήθηκαν όλες οι απαντήσεις που περιλάμβαναν μόνο κάποια ή κάποιες από τις επιλογές ε έως η. Η πλειοψηφία αυτών που ανήκουν στην α κατηγορία έδωσε τη σωστή απάντηση, επέλεξε δηλαδή τις ε και ζ.

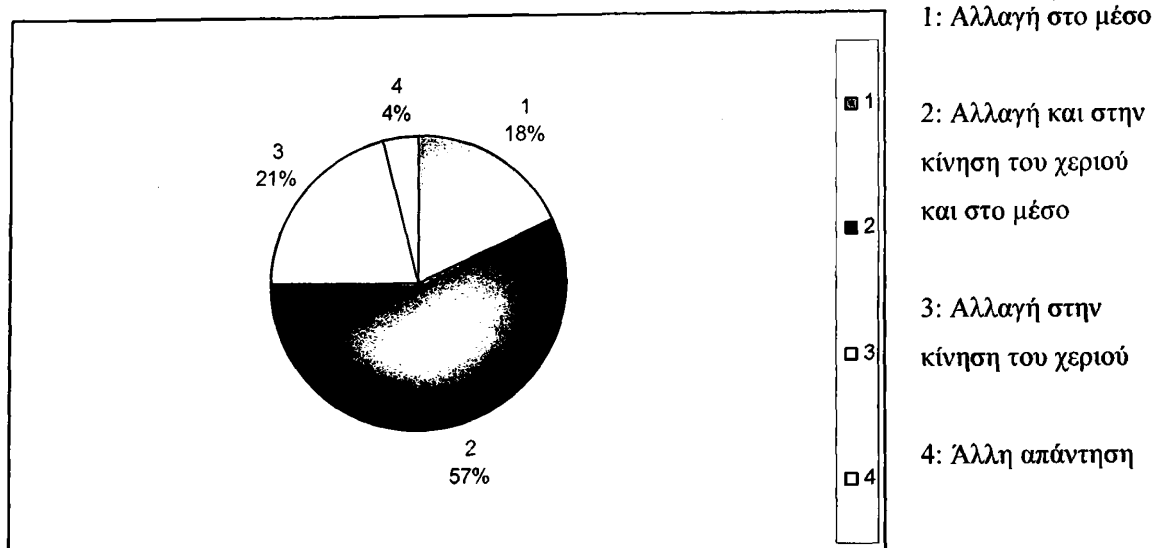
Στη κατηγορία β, τοποθετούνται όσοι απάντησαν επιλέγοντας μία ή περισσότερες από τις α, β, γ, δ, θ και ι μαζί με μία ή περισσότερες από τις ε, στ, ζ, η. Οι φοιτητές αυτής της κατηγορίας θεωρούν ότι και οι ιδιότητες του μέσου αλλά και η κίνηση του χεριού κατά τη δημιουργία του παλμού, επηρεάζουν την ταχύτητα διάδοσης του.

Στην κατηγορία γ περιλαμβάνονται οι φοιτητές που απάντησαν επιλέγοντας μία ή περισσότερες από τις επιλογές α έως δ και θ, ι. Αυτοί δηλαδή θεωρούν ότι μόνο η κίνηση του χεριού επηρεάζει την ταχύτητα του παλμού και τέλος στην δ κατηγορία είναι αυτοί που επέλεξαν μόνο την επιλογή κ, τίποτα από τα παραπάνω.

Πίνακας 3.7.1

Η ταχύτητα αλλάζει λόγω αλλαγής:	N=51
α) στο μέσο	18%
β) στην κίνηση του χεριού και στο μέσο	57%
γ) στην κίνηση του χεριού	21% (ήταν 22)
δ) τίποτα από τα παραπάνω	4%

Γράφημα 3.7.1



Συγκρίνοντας τις απαντήσεις των φοιτητών στις διαφορετικού τύπου ερωτήσεις 1 και 3, αλλά με ίδιο αντικείμενο, μπορεί να διαπιστωθεί αν υπάρχει συνέπεια στις απόψεις τους για την ταχύτητα του παλμού. Μπορεί λοιπόν να διερευνηθεί το κατά πόσο ο κάθε φοιτητής καθώς απαντά στις ερωτήσεις διατηρεί τις αρχικές του ιδέες.

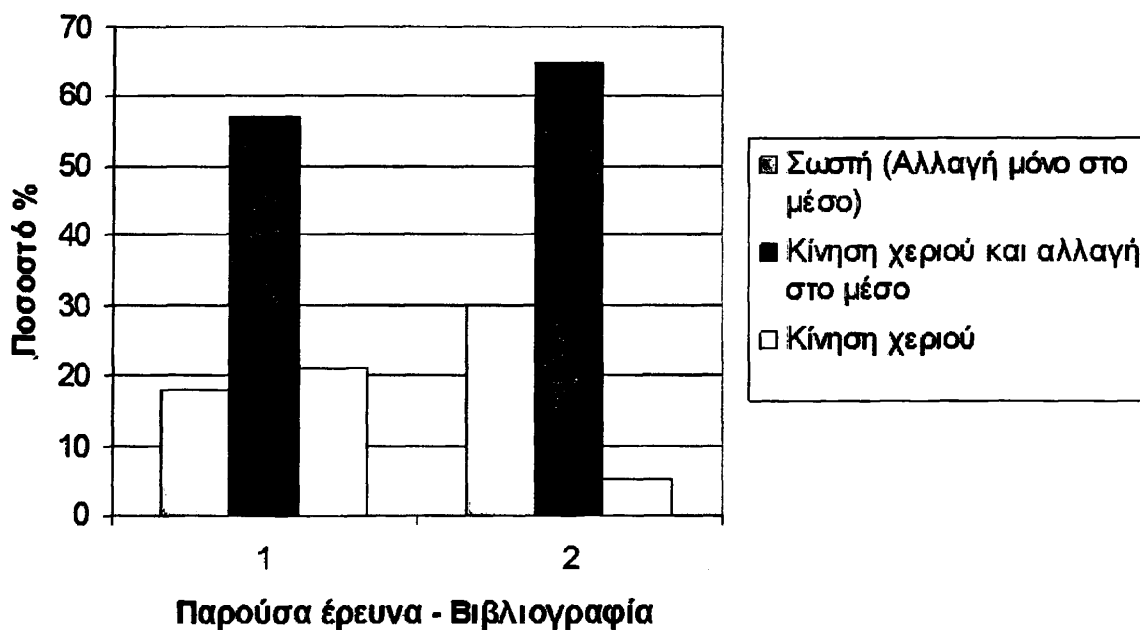
Είναι εμφανές με την πρώτη ματιά ότι υπήρξαν αρκετές μετακινήσεις από τη μία κατηγορία στην άλλη. Οι πιθανές απαντήσεις που υπάρχουν στις ερωτήσεις πολλαπλών επιλογών του ερωτηματολογίου είναι οι συνήθεις απαντήσεις που έχουν δοθεί από φοιτητές κατά τη διάρκεια άλλων ερευνών που συμπεριελάμβαναν ερωτηματολόγια συνεντεύξεις κ.λπ. [1], [5], [7]. Στις πιθανές απαντήσεις λοιπόν, εκτός από τις σωστές συμπεριλαμβάνονται και απαντήσεις «παγίδες».

Το 18% των φοιτητών απάντησε σωστά στην ερώτηση. Βλέπουμε ότι οι σωστές απαντήσεις μειώθηκαν σε σύγκριση με την ερώτηση 1 (29% σωστές στην ερώτηση 1). Είναι όμως άξιο λόγου ότι όλοι οι φοιτητές που απάντησαν σωστά στην ερώτηση 3 απάντησαν σωστά και στην ερώτηση 1. Οι συγκεκριμένοι λοιπόν (το 18%) φαίνεται ότι έχουν όντως κατανοήσει το συγκεκριμένο φαινόμενο και δεν επηρεάστηκαν από τις άλλες προτεινόμενες επιλογές. Οι υπόλοιποι που έδωσαν σωστή απάντηση στην 1 μετακινήθηκαν στην κατηγορία β στην ερώτηση 3, εκτός από έναν φοιτητή. Επέλεξαν δηλαδή και κάποιες από τις απαντήσεις που αναφέρουν αλλαγή στην κίνηση του χεριού. Φαίνεται ότι επηρεάστηκαν από τις «παγίδες». Διδάχθηκαν και ανακάλεσαν το σωστό τρόπο σκέψης για το συγκεκριμένο φαινόμενο αλλά όπως φαίνεται κάνουν αναλογίες που δε εφαρμόζονται στην Κυματική Φυσική. Περισσότερα για τη

σύγκριση των απαντήσεων των φοιτητών και στις δύο ερωτήσεις (1 και 3) φαίνονται στον συγκεντρωτικό πίνακα 3.5 παρακάτω, στο τέλος της ανάλυσης για την ερώτηση αυτή.

Σε αντίστοιχη έρευνα με την ίδια ερώτηση και σε δείγμα 116 φοιτητών οι οποίοι είχαν ολοκληρώσει τα μαθήματα για τα κύματα (μάθημα με διαλέξεις), οι σωστές απαντήσεις φτάνουν το 30% [5]. Οι φοιτητές αυτοί παρακολουθούσαν μια σειρά μαθημάτων για τη φυσική με προαπαιτούμενο τη Νευτώνεια Φυσική. Στο παρακάτω γράφημα 3.7.2 φαίνονται τα ποσοστά για την ερώτηση στην παρούσα έρευνα (στήλη 1) καθώς και στην έρευνα που αναφέρεται παραπάνω.

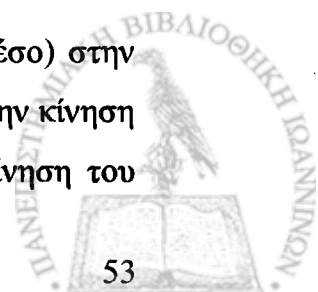
Γράφημα 3.7.2



Πολύ σημαντική αύξηση του ποσοστού υπάρχει στη β κατηγορία στην οποία αναφέρονται τόσο απαντήσεις που αφορούν το μέσο όσο και την κίνηση του χεριού. Τα αρχικό 4% αυξήθηκε σε 57%. Το ποσοστό σε αντίστοιχη έρευνα που αναφέρθηκε προηγουμένως^[5] ανέρχεται στο 65%.

Οι φοιτητές που ήταν στην β κατηγορία στην ερώτηση 1 (4%) παρέμειναν σταθεροί στις απόψεις τους και στην ερώτηση 3. Από τους υπόλοιπους η μεγαλύτερη μετακίνηση διαπιστώθηκε από αυτούς που ανέφεραν μόνο την κίνηση του χεριού στην 1.

Πιο συγκεκριμένα από το 57% της β κατηγορίας (κίνηση χεριού και μέσο) στην ερώτηση 3, το 4% έδωσε απαντήσεις στην ερώτηση 1 που αφορούσαν και την κίνηση του χεριού και το μέσο, το 33% είχε δώσει απαντήσεις μόνο για την κίνηση του



χειριού, το 10% είχε μιλήσει μόνο για το μέσο και το υπόλοιπο 10% ήταν στην κατηγορία δ (άλλη).

Ένα σημαντικό λοιπόν ποσοστό, 33%, ναι μεν απάντησε λάθος στην ερώτηση 1 ότι μόνο κάποια αλλαγή στην κίνηση του χειριού επηρεάζει την ταχύτητα διάδοσης του παλμού αλλά συμπεριέλαβε τη σωστή απάντηση σ' αυτήν την ερώτηση πολλαπλών επιλογών, την ερώτηση 3. Φαίνεται λοιπόν ότι δεν μπορούν να σκεφτούν με τον επιστημονικά σωστό τρόπο όσον αφορά στην Κυματική, μπορούν όμως να αναγνωρίσουν τη σωστή απάντηση όταν τους δοθεί.

Στην κατηγορία γ, στην οποία οι φοιτητές επιλέγουν μόνο κινήσεις του χειριού για να επιτευχθεί η ζητούμενη μεταβολή, το ποσοστό είναι περίπου 21%. Όλοι αυτοί, εκτός από έναν φοιτητή, είχαν απαντήσει με την ίδια λογική και στην ερώτηση 1.

Προσθέτοντας τα ποσοστά της β και της γ κατηγορίας διαπιστώνουμε ότι 78% των φοιτητών πιστεύει λανθασμένα ότι και μία αλλαγή στην κίνηση του χειριού θα μεταβάλλει την ταχύτητα διάδοσης του παλμού. Μια πιο γρήγορη κίνηση του χειριού ή μια πιο αργή, αν κουνήσουμε το χέρι πιο ψηλά ή πιο χαμηλά, αν βάλουμε μικρότερη δύναμη στο κύμα ή μεγαλύτερη, κάποιο από αυτά πιστεύουν ότι θα μεταβάλλει την ταχύτητα διάδοσης του παλμού στο τεντωμένο σχοινί. Φαίνεται ότι οι αρχικές συνθήκες δημιουργίας του παλμού παίζουν ένα πολύ μεγάλο ρόλο στην ταχύτητα διάδοσης του παλμού στη σκέψη των φοιτητών.

Μπορεί να συγκριθεί αυτό το ποσοστό με αντίστοιχο από την έρευνα της L.Maurines^[1] η οποία αναφέρει ότι το 75% του δείγματος σε συγκεκριμένη παρόμοια ερώτηση απαντά ότι υπάρχει τρόπος να κουνήσει ο άνθρωπος το χέρι ώστε ο παλμός να κινηθεί πιο γρήγορα. Η ερώτησή της ήταν τύπου ναι ή όχι με αιτιολόγηση και το δείγμα αποτελούνταν και από φοιτητές φυσικής μετά το μάθημα για τα κύματα.

Τέλος, στην τελευταία κατηγορία τη δ είναι αυτοί που απάντησαν τίποτα από τα παραπάνω, δηλαδή αυτοί που επέλεξαν μόνο την απάντηση κ.

Για τη συγκεκριμένη ερώτηση, η οποία είναι πολλαπλών επιλογών, πέρα από την ταξινόμηση των απαντήσεων των φοιτητών στις τέσσερις προαναφερθείσες κατηγορίες, ενδιαφέροντα στοιχεία προκύπτουν από τη μελέτη των «δημοφιλέστερων» επιλογών στις απαντήσεις τους.

Όπως αναφέρεται και στην εκφώνηση της ερώτησης 3, ο κάθε φοιτητής μπορούσε να επιλέξει παραπάνω από μία απαντήσεις, με την προϋπόθεση όμως ότι κάθε μία από τις επιλογές του ξεχωριστά μπορούσε να προκαλέσει το ζητούμενο αποτέλεσμα στην ταχύτητα διάδοσης του παλμού.

Πρώτη στις επιλογές των φοιτητών για το πώς μπορεί να μειωθεί η ταχύτητα του παλμού είναι η επιλογή β. Η απάντηση λοιπόν, ότι κουνώντας πιο αργά το χέρι του ο άνθρωπος κατά τη δημιουργία του παλμού θα καταφέρει να μειώσει την ταχύτητα με την οποία διαδίδεται ο παλμός στο τεντωμένο σχοινί επιλέχθηκε από τους περισσότερους φοιτητές (χωρίς αυτό να σημαίνει ότι ήταν η μοναδική επιλογή στις απαντήσεις τους).

Αυτό είναι σε συμφωνία με τα ευρήματα από την ανάλυση στην ερώτηση 1. Σε εκείνη την ερώτηση η συνηθέστερη απάντηση σε όλο το δείγμα των φοιτητών ήταν ότι μια πιο γρήγορη κίνηση του χεριού, κατά τη δημιουργία του παλμού, θα τον αναγκάσει κινηθεί με μεγαλύτερη ταχύτητα δια μέσω του σχοινοῦ, κάτι που δεν ισχύει. Αναλογικά λοιπόν, μια πιο αργή κίνηση του χεριού κατά τη δημιουργία του παλμού μπορεί να προκαλέσει μείωση στην ταχύτητα διάδοσης του.

Το 59% των φοιτητών επέλεξε την απάντηση β, μαζί με άλλες ή μόνη της. Αμέσως επόμενη απάντηση, ως αναφορά το ποσοστό των φοιτητών που την επέλεξε, είναι η επιλογή ε, η οποία είναι και σωστή απάντηση στην ερώτηση αυτή (όχι όμως η μοναδική). Το 55% λοιπόν αναγνωρίζει τη σωστή απάντηση ε. Επισημαίνεται ότι τα ποσοστά αυτά είναι επί του συνολικού δείγματος. Τρίτο ποσοστό στην προτίμηση των φοιτητών με 29% είναι δύο απαντήσεις. Η σωστή απάντηση ζ που αναφέρει τη μείωση της τάσης με σχοινί ίδιας γραμμικής πυκνότητας και η ι που αναφέρει ότι βάζοντας μικρότερη δύναμη στο κύμα θα μειώσουμε την ταχύτητά του. Στη συνέχεια ποσοστό 27% επιλέγει την γ, κίνηση με μεγαλύτερη απόσταση πάνω-κάτω, 18% των φοιτητών επιλέγουν τις δ και στ, μικρότερη απόσταση πάνω-κάτω και ελαφρύτερο σχοινί υπό την ίδια τάση αντίστοιχα, 14% επιλέγει την α, πιο γρήγορη κίνηση του χεριού κι άλλο τόσο την η ίδια πυκνότητα αλλά μεγαλύτερη τάση και τελευταίες στην προτίμηση των φοιτητών με 4% είναι η επιλογές θ μικρότερη δύναμη και κ τίποτα από τα παραπάνω.

Στην ερώτηση αυτή είχε ζητηθεί από τους φοιτητές να αιτιολογήσουν την απάντησή τους. Οι 10 από τους 51 φοιτητές το έκαναν και οι περισσότεροι από αυτούς χρησιμοποίησαν τον γνωστό τύπο $v = \sqrt{F/m}$ στις εξηγήσεις τους. Κάποιοι απάντησαν σωστά. Κάποιοι όμως συμπεριέλαβαν και προτάσεις που αναφέρονται στην κίνηση του χεριού στην απάντησή τους.

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι υπάρχουν ενδείξεις ότι οι φοιτητές παρουσιάζουν μία δυσκολία στο να κατανοήσουν και κατ' επέκταση να ερμηνεύσουν

και να αντιμετωπίσουν με συνέπεια κι επιστημονικά ορθό τρόπο φαινόμενα που αναφέρονται στη διάδοση ενός παλμού σε τεντωμένο σχοινί. Σωστές και λάθος απόψεις φαίνεται να συνυπάρχουν στις αιτιολογήσεις τους και προφανώς στις αντιλήψεις τους.

Είναι γνωστό ότι οι αρχικές ιδέες των φοιτητών επιδρούν στην οικοδόμηση της νέας γνώσης. Οι προυπάρχουσες ιδέες και ερμηνείες, τους συνοδεύουν και είναι συνήθως διαφορετικές από τις επιστημονικές απόψεις^[10]. Στην περίπτωση των κυμάτων οι φοιτητές ίσως λόγω έλλειψης εμπειριών δείχνουν να χρησιμοποιούν τη γνώριμη γι' αυτούς Νευτώνεια Φυσική για να αιτιολογήσουν τις απαντήσεις τους^[7]. Έτσι η ταχύτητα διάδοσης ενός παλμού μπορεί να συσχετίζεται με την ταχύτητα του χεριού κατά τη δημιουργία του. Πιο γενικά η ταχύτητα διάδοσης του παλμού για αρκετούς φοιτητές φαίνεται να εξαρτάται από τις αρχικές συνθήκες δημιουργίας του παλμού.

Παρακάτω δίνεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας 3.7.2 στον οποίο φαίνονται ταυτόχρονα οι απαντήσεις των φοιτητών και στις δυο ερωτήσεις. Οι αριθμοί στα κελιά αναφέρονται σε πραγματικό αριθμό φοιτητών και όχι σε ποσοστό. Φαίνεται ότι από τους 28 φοιτητές που απάντησαν ότι μόνο η κίνηση του χεριού θα μεταβάλλει την ταχύτητα στην ανοιχτού τύπου ερώτηση, οι 17 αναγνώρισαν τη σωστή απάντηση στην ερώτηση πολλαπλών επιλογών και τη συμπεριέλαβαν στην απάντησή τους. Όπως προαναφέρθηκε λοιπόν οι συγκεκριμένοι φοιτητές δεν μπορούν να ανακαλέσουν τη σωστή απάντηση αλλά μπορούν να την αναγνωρίσουν. Οι 10 από αυτούς παρέμειναν στην άποψή τους.

Συγκεντρωτικός πίνακας 3.7.2

N=51		ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΡΩΤΗΣΗ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΤΥΠΟΥ			
		Η ταχύτητα αλλάζει λόγω αλλαγής:	α) στο μέσο	β) στην κίνηση του χεριού και στο μέσο	γ) στην κίνηση του χεριού
ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΡΩΤΗΣΗ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΕΠΙΛΟΓΩΝ	α) στο μέσο	9			
	β) στην κίνηση του χεριού και στο μέσο	5	2	17	5
	γ) στην κίνηση του χεριού	1		10	
	δ) τίποτα από τα παραπάνω			1	1

3.8 Δεύτερη ερώτηση

Με τις επόμενες δύο ερωτήσεις του ερωτηματολογίου (δεύτερη και τέταρτη) ερευνώνται οι αντιλήψεις των φοιτητών για τον ήχο. Αρχικά θα αναλυθεί η δεύτερη, η οποία είναι μία ερώτηση ανοιχτού τύπου και στη συνέχεια η τέταρτη, η οποία είναι μια ερώτηση πολλαπλών επιλογών. Πέρα από το γεγονός ότι είναι ερωτήσεις διαφορετικής μορφής και ο λόγος που υπάρχουν έχει αναφερθεί παραπάνω, το ζητούμενο είναι ίδιο. Και σ' αυτήν την περίπτωση θα φανεί η διαφορά στις απαντήσεις των φοιτητών ή αν οι φοιτητές απαντούν με συνέπεια και στις δύο ερωτήσεις. Υπενθυμίζεται ότι η ερώτηση 2 απαντήθηκε μαζί με την πρώτη ερώτηση ως κομμάτι του Α' μέρος του ερωτηματολογίου. Στη συνέχεια αφού επιστράφηκαν

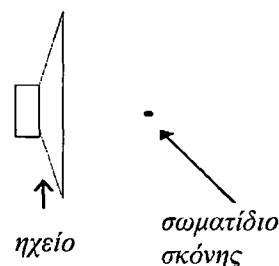
όλα τα γραπτά μοιράστηκε το δεύτερο μέρος στο οποίο υπήρχε η ερώτηση 4 με τις πιθανές απαντήσεις.

Από προηγούμενες έρευνες κι από την παρούσα έρευνα μέχρι στιγμής, φαίνεται ότι υπάρχει μια δυσκολία στο να γίνει διαχωρισμός στην κίνηση του κύματος και στην κίνηση του μέσου μέσω του οποίου διαδίδεται το κύμα^[7]. Επίσης ότι οι δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι φοιτητές όταν ερωτώνται για τη διάδοση ενός παλμού σε τεντωμένο σχοινί, υπάρχουν και στην περίπτωση της διάδοσης ενός ηχητικού κύματος. Η ένταση των προβλημάτων όμως μπορεί να διαφέρει.

Η δεύτερη ερώτηση του ερωτηματολογίου όπως δόθηκε στους φοιτητές αναφέρεται παρακάτω:

«Ένα σωματίδιο σκόνης είναι τοποθετημένο μπροστά σε ένα κλειστό ηχείο (βλέπε σχήμα). Το ηχείο τίθεται σε λειτουργία και μεταδίδει μία νότα σταθερής συχνότητας.

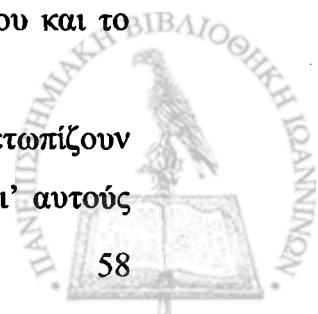
Περιγράψτε την κίνηση του σωματιδίου σκόνης. Εξηγήστε τον συλλογισμό σας.»



Τό σωματίδιο αυτό θεωρούμε ότι αιωρείται σε ένα δωμάτιο χωρίς ρεύματα αέρα. Για το συγκεκριμένο σύστημα και σε κατάλληλη κλίμακα, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το μέσο, μέσω του οποίου τα ηχητικά κύματα διαδίδονται, κινείται μόνο εξαιτίας της διαδιδόμενης διαταραχής. Επίσης αναφερόμαστε σε ηχητικά κύματα στην ακουστική συχνότητα και πιο συγκεκριμένα μεταξύ 10 έως 5000 Hz. Λαβαίνοντας υπόψη ότι η ταχύτητα του ήχου στον αέρα είναι περίπου 340 m/s (για δεδομένη θερμοκρασία) μπορούμε να υπολογίσουμε το μήκος κύματος το οποίο μπορεί να παίρνει τιμές από περίπου 7 cm έως 34 m περίπου. Όλα αυτά τα μήκη κύματος είναι κατά πολύ μεγαλύτερα σε σύγκριση με το μέγεθος του σωματιδίου σκόνης (λιγότερο από μισό εκατοστό).

Αυτό που περιμένει κανείς από τους φοιτητές στις απαντήσεις τους είναι ότι το σωματίδιο σκόνης θα εκτελέσει διαμήκη ταλάντωση εξαιτίας της κίνησης του μέσου, λόγω του ηχητικού κύματος που διαδίδεται σ' αυτό, το οποίο είναι ένα διάμηκες κύμα. Δεν αναμένεται η παραπάνω ανάλυση για το μέγεθος του σωματιδίου και το μήκος κύματος.

Έχει αναφερθεί και σε παλαιότερες έρευνες^[1,5,6,7] ότι οι σπουδαστές αντιμετωπίζουν τα κύματα σαν υλικά σημεία τα οποία κινούνται όπως ορίζει η γνωστή γι' αυτούς



Νευτώνεια Μηχανική. Συνεπώς θεωρούνται ικανά να σπρώχνουν σώματα κατά τη διάδοσή τους στη διεύθυνση της κίνησής τους ^[6,7]. Αυτή είναι μια αντίληψη η οποία εμπεριέχει θεμελιώδεις διαφορές με αυτά που μας διδάσκει η κυματική όσον αφορά στην διάδοση ενός κύματος. Αυτό φαίνεται περισσότερο στις απαντήσεις των φοιτητών στην ερώτηση 4, στην οποία δίνεται ως πιθανή απάντηση αυτή η λανθασμένη αντίληψη για τη διάδοση των ηχητικών κυμάτων. Με αυτή την ερώτηση δίνεται η δυνατότητα να συζητηθούν οι σκέψεις των φοιτητών για τη φύση των ηχητικών κυμάτων και τον τρόπο που κινείται το μέσο όταν αυτά διαδίδονται.

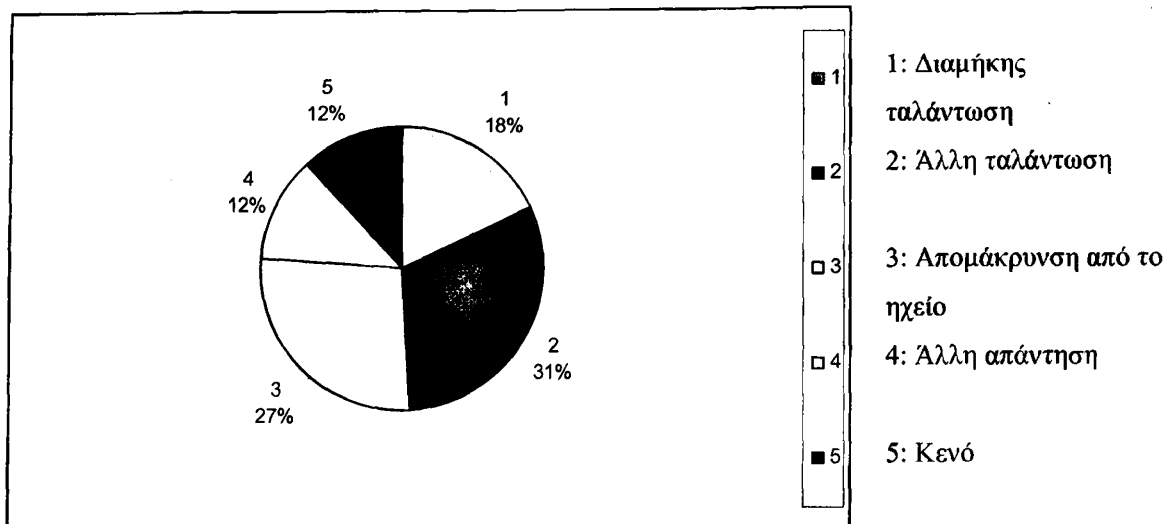
Όπως έχει αναφερθεί και στην αρχή η κατηγοριοποίηση των απαντήσεων έγινε σύμφωνα με τη βιβλιογραφία και με αυτό που διερευνάται σε κάθε μία ερώτηση του ερωτηματολογίου. Οι κατηγορίες είναι πέντε. Στην κατηγορία α τοποθετήθηκαν οι φοιτητές που απάντησαν σωστά στην ερώτηση ότι το σωματίδιο σκόνης θα εκτελέσει διαμήκη ταλάντωση εξαιτίας της κίνησης του αέρα. Στη β κατηγορία όσοι στις απαντήσεις τους ανέφεραν ότι το σωματίδιο θα ταλαντωθεί με άλλο τρόπο, χωρίς να χαρακτηρίζουν την ταλάντωση διαμήκη, ή αυτοί που απλώς ανέφεραν τον όρο ταλάντωση χωρίς περαιτέρω εξηγήσεις. Στη γ κατηγορία τοποθετήθηκαν όσοι πιστεύουν ότι το σωματίδιο σκόνης θα απομακρύνεται μακριά από το ηχείο εξαιτίας του κύματος, όπως εξηγούν, και στην κατηγορία δ όσοι έδωσαν απαντήσεις με τις οποίες δεν μπορούσαν να καταταχθούν σε καμία από τις παραπάνω κατηγορίες. Τέλος στην κατηγορία ε τοποθετήθηκαν όσοι άφησαν την ερώτηση αυτή κενή.

Τα ποσοστά επί τοις εκατό για τις απαντήσεις των φοιτητών, πίνακας 3.8.1 καθώς και το αντίστοιχο γράφημα 3.8.1 παρατίθενται παρακάτω.

Πίνακας 3.8.1

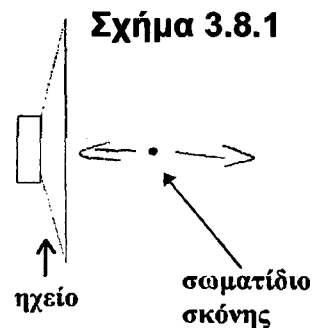
Η κίνηση του σωματιδίου σκόνης θα είναι:	N=51
α) διαμήκης ταλάντωση	18%
β) άλλη ταλάντωση	31%
Γ) απομάκρυνση από το ηχείο	27%
δ) άλλη απάντηση	12%
ε) κενό	12%

Γράφημα 3.8.1



Το ποσοστό των σωστών απαντήσεων μπορούμε να πούμε ότι είναι σχετικά χαμηλό. Μόνο το 18% του συνολικού δείγματος μπόρεσε να δώσει ολοκληρωμένα τη σωστή απάντηση.

Ένα παράδειγμα σωστής απάντησης και το ήταν το εξής: «Το σωματίδιο θα κινείται δεξιά-αριστερά γιατί το ηχητικό κύμα είναι διάμηκες κύμα που σημαίνει πως η ταλάντωση του σώματος είναι παράλληλη με τη φορά διάδοσής του.» Αρχικά πρέπει να σημειωθεί ότι ο συγκεκριμένος φοιτητής γνωρίζει ότι ο ήχος είναι ένα



διάμηκες κύμα. Επίσης ότι κατά τη διάδοσή του, το κύμα αυτού του είδους, αναγκάζει τα σωματίδια του μέσου να εκτελούν ταλάντωση στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Ο ίδιος φοιτητής πάνω στο σχήμα της ερώτησης σχεδίασε και την κίνηση του σωματιδίου. Με τη χρήση ενός σαρωτή παρουσιάζεται το σχήμα από το γραπτό του (σχήμα 3.8.1). Άλλη σωστή απάντηση και λακωνικότερη είναι η εξής: «Ταλάντωση σε οριζόντια διεύθυνση. Έχουμε ηχητικό κύμα.». Όλοι όσοι απάντησαν σωστά στην ερώτηση αυτή, εκτός από τον προηγούμενο φοιτητή, ανέφεραν ότι η συγκεκριμένη κίνηση του σωματιδίου οφείλεται στο ότι ο ήχος είναι ένα διάμηκες κύμα.

Οι μισοί από αυτούς που απάντησαν σωστά στη δεύτερη ερώτηση του ερωτηματολογίου απάντησαν λανθασμένα στην πρώτη ερώτηση για την ταχύτητα διάδοσης του παλμού στο τεντωμένο σχοινί. Το ποσοστό των σωστών απαντήσεων σ' αυτήν την ερώτηση είναι μικρότερο από αυτό στην ερώτηση 1 του ερωτηματολογίου.



Στη β κατηγορία της ερώτησης 2 του ερωτηματολογίου κατατάχθηκαν οι φοιτητές οι οποίοι αναφέρουν ότι το σωματίδιο θα ταλαντωθεί αλλά είτε αναφέρουν λάθος τρόπο είτε δεν εξηγούν τι είδους ταλάντωση θα κάνει. Σ' αυτήν την κατηγορία ανήκει το 31% (μεγαλύτερο σε σύγκριση με τις υπόλοιπες κατηγορίες της ερώτησης 2).

Παραδείγματα από απαντήσεις φοιτητών σ' αυτήν την κατηγορία είναι τα εξής: «*Το σωματίδιο σκόνης θα κάνει ταλάντωση στην ίδια συχνότητα.*» ή «*Το σωματίδιο θα αρχίσει να ταλαντώνεται με τη συχνότητα που εκπέμπει η πηγή.*» Επίσης υπάρχουν και φοιτητές που απαντούν όπως ο επόμενος: «*Το σωματίδιο θα κινείται πάνω-κάτω με συχνότητα ίση με αυτήν της νότας που εκπέμπεται από το ηχείο.*» Οι συγκεκριμένοι φοιτητές κι όσοι απάντησαν κατ' αυτόν τον τρόπο ναι μεν αναφέρουν ότι το σωματίδιο θα ταλαντωθεί αλλά δεν αναφέρουν το είδος της ταλάντωσης ή αναφέρουν λάθος τρόπο. Αυτό ίσως είναι απόρροια του ότι δεν υπάρχει καμία αναφορά στο είδος του κύματος. Δε γίνεται καμία αναφορά στο ότι ο ήχος είναι ένα διάμηκες κύμα και ίσως δεν μπορούν αυτή τη γνώση αν την έχουν, να την ανακαλέσουν. Οι περισσότεροι παρέμειναν σ' αυτήν την κατηγορία και στην ερώτηση πολλαπλών επιλογών πράγμα που θα αναφερθεί και παρακάτω στην ανάλυση της τέταρτης ερώτησης.

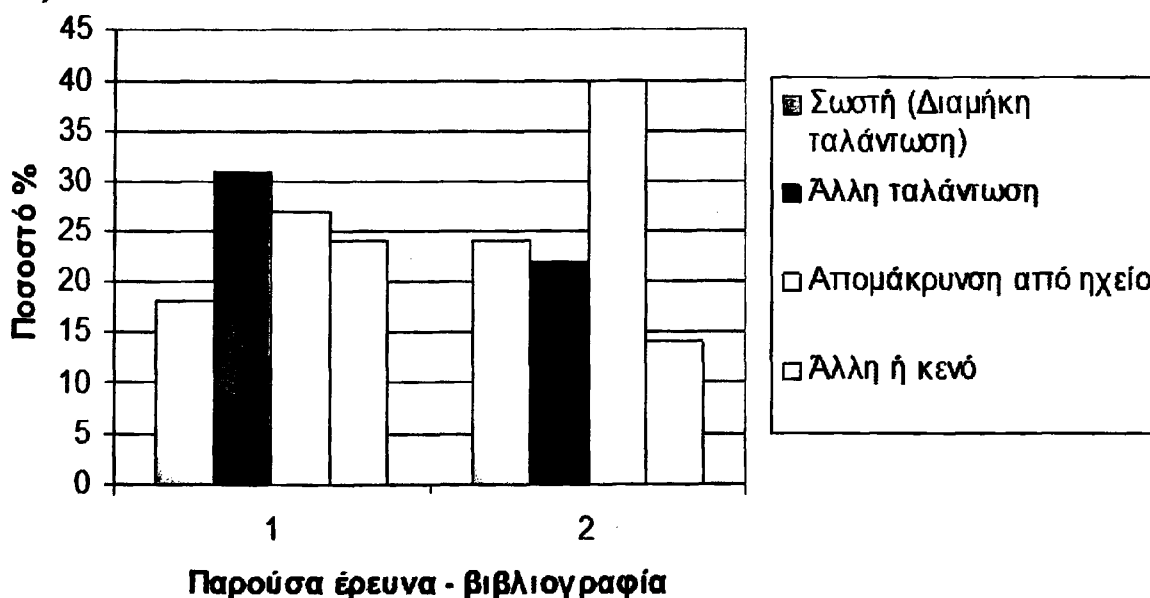
Στην ίδια κατηγορία τη β τοποθετήθηκαν και απαντήσεις φοιτητών όπου γίνεται αναφορά στο ότι ο ήχος είναι ένα διάμηκες κύμα χωρίς όμως να αναφέρεται ότι το σωματίδιο θα ταλαντωθεί δεξιά-αριστερά ή ότι το σωματίδιο θα εκτελέσει διαμήκη ταλάντωση. Παράδειγμα αυτής της κατηγορίας είναι η εξής: «*Το κύμα που εκπέμπεται είναι διάμηκες. Το σωματίδιο θα τεθεί σε ταλάντωση καθώς το ηχείο εκπέμπει μια νότα σταθερής συχνότητας*» Γενικά στην κατηγορία αυτή, τη β, τοποθετήθηκαν 16 φοιτητές από το συνολικό δείγμα. Οι 4 από αυτούς ανέφεραν ότι ο ήχος είναι ένα διάμηκες κύμα και μόνο 2 απάντησαν σωστά στην ερώτηση 4 (πολλαπλών επιλογών) ότι το σωματίδιο θα ταλαντωθεί δεξιά-αριστερά.

Στην κατηγορία γ αυτή της ερώτησης του ερωτηματολογίου τοποθετούνται οι φοιτητές οι οποίοι αναφέρουν ότι το σωματίδιο θα απομακρυνθεί από το ηχείο. Πρέπει να αναφερθεί ότι στην ερώτηση 4 που είναι πολλαπλών επιλογών και συγκεκριμένα στην επιλογή β υπάρχει η λέξη «ωθηθεί». Οι φοιτητές της γ κατηγορίας στην ερώτηση 2 δε χρησιμοποιούν στις αιτιολογήσεις τους τη λέξη αυτή, ούτε αναφέρουν ότι το κύμα ασκεί κάποιου είδους δύναμη στο σωματίδιο σκόνης και γι' αυτό απομακρύνεται από το ηχείο. Όμως υπονοείται κάτι τέτοιο όταν αναφέρουν ότι το σωματίδιο παρασύρεται από το κύμα ή ότι κινείται ευθεία εξαιτίας του κύματος, σε

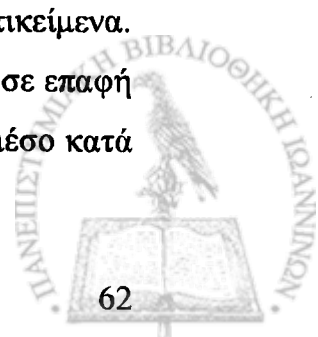
κάποιες απαντήσεις δεν εξηγούν το λόγο που το σωματίδιο θα απομακρυνθεί από το ηχείο. Το ποσοστό αυτής της κατηγορίας ανέρχεται στο 27%.

Σε έρευνα που έγινε σε φοιτητές φυσικού στον Καναδά από τους Cedric J. Linder, Gaalen L. Erickson^[2] και αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2, οι παρατηρήθηκαν τέσσερις αντιλήψεις για τον ήχο. Σε μία από αυτές ο ήχος αναφέρεται ως μια ουσία που ταξιδεύει. Ο ήχος θεωρείται ικανός να ασκήσει δύναμη κατά τη διάδοσή του. (Αριστοτελική περιγραφή του ήχου)^[2]. Σε άλλη έρευνα^[6] από τους Michael C. Wittmann, Richard N. Steinberg, Edward F. Redish σε συνεντεύξεις και γραπτές εξετάσεις, το 40% των φοιτητών (N=96) αναφερόντουσαν στον ήχο σαν να είχε την ικανότητα να χτυπά ή να σπρώχνει αντικείμενα που βρίσκονται στην πορεία του. Σύγκριση ποσοστών της παρούσας έρευνας και την έρευνας που αναφέρθηκε παραπάνω δίνεται παρακάτω στο γράφημα 3.8.2 Στις πρώτες στήλες δίνονται τα ποσοστά της παρούσας έρευνας και στις δεύτερες τα αντίστοιχα ποσοστά της έρευνας στη βιβλιογραφία ^[6]

Γράφημα 3.8.2



Ορισμένοι φοιτητές λοιπόν δίνουν στον ήχο ιδιότητες που έχουν τα αντικείμενα. Όπως αυτά μπορούν να ασκήσουν δυνάμεις καθώς κινούνται όταν έρχονται σε επαφή με άλλα έτσι μπορεί και ο ήχος καθώς διαδίδεται να ασκήσει δύναμη στο μέσο κατά

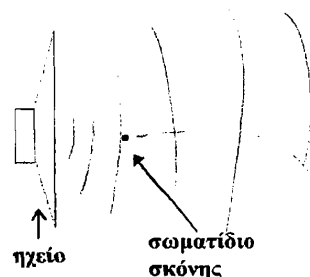


τη διεύθυνση στην οποία διαδίδεται. Πάλι λοιπόν παρατηρούνται αναλογίες με τη κίνηση ενός αντικειμένου.

Ορισμένα παραδείγματα από απαντήσεις φοιτητών της κατηγορίας γ αναφέρονται παρακάτω: «Το σωματίδιο θα απομακρυνθεί από το ηχείο αφού θα το παρασύρουν τα ηχητικά κύματα» ή «Το σωματίδιο θα κινείται προς τα εμπρός δηλ θα απομακρύνεται από το ηχείο.» Άλλος φοιτητής ανέφερε το εξής:

«Το σωματίδιο σκόνης έχει μηδαμινό βάρος. Άρα θα κινηθεί ευθεία κ ελαφρώς παραβολικά προς τα κάτω.» Το σχήμα στο ερωτηματολόγιο του φοιτητή απεικονίζεται στο διπλανό σχήμα 3.8.2.

Σχήμα 3.8.2



Άλλες απαντήσεις αναφέρουν απλώς ότι το σωματίδιο σκόνης θα κινηθεί ευθεία προς την κατεύθυνση διάδοσης του κύματος. Φαίνεται λοιπόν από τις απαντήσεις τους ότι για κάποιον λόγο το σωματίδιο θα παρασυρθεί, θα κινηθεί ευθεία και τελικά θα απομακρυνθεί από το ηχείο. Η απαντήσεις θα είναι πιο συγκεκριμένες στην ερώτηση 4 η οποία είναι πολλαπλών επιλογών.

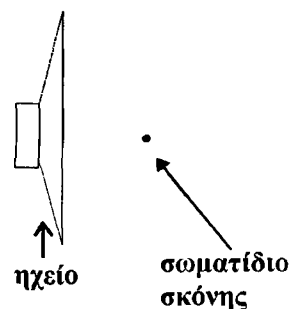
Στην κατηγορία δ έχουν τοποθετηθεί οι φοιτητές των οποίων οι απαντήσεις ήταν ασαφείς. Το 12% του συνολικού δείγματος τοποθετείται στη συγκεκριμένη κατηγορία και παραδείγματα απαντήσεων είναι τα εξής: «Το σωματίδιο σκόνης θα ακολουθήσει διαμήκη κύματα» Άλλος φοιτητής απάντησε: «Η κίνηση του σωματιδίου θα είναι σε κυματική μορφή με σταθερό πλάτος» κι άλλη απάντηση ήταν η εξής: «Θα εκτελεί διάμηκες κύμα». Ένας από αυτούς ανέφερε στην απάντηση του ότι το σωματίδιο «κάνει στάσιμο κύμα.» Αντίστοιχες απαντήσεις ήταν δύσκολο να γίνουν κατανοητές. Οι φοιτητές αυτοί προφανώς κι έχουν κάποιες απόψεις όσον αφορά στη διάδοση των ηχητικών κυμάτων αλλά ίσως είναι λίγο δύσκολο γι' αυτούς να τις εκφράσουν είτε επειδή δεν είναι εξοικειωμένοι με τους όρους είτε γιατί δεν έχουν κατανοήσει τις έννοιες τις Κυματικής.

Η τελευταία κατηγορία της ερώτησης 2 του ερωτηματολογίου είναι η ε. Στην κατηγορία αυτή τοποθετούνται όσοι φοιτητές άφησαν την ερώτηση κενή. Το ποσοστό είναι ίδιο με αυτό της δ κατηγορίας και είναι 12 %. Στην ερώτηση 1 του ερωτηματολογίου η οποία ήταν κι αυτή ανοιχτού τύπου πρέπει να αναφερθεί ότι δεν υπήρξαν κενές απαντήσεις. Ίσως αυτή η ερώτηση δυσκόλεψε περισσότερο τους φοιτητές.

3.9 Τέταρτη ερώτηση

Η τέταρτη ερώτηση του ερωτηματολογίου είναι πανομοιότυπη με την δεύτερη ερώτηση. Αυτό που αλλάζει είναι η μορφή της ερώτησης και το ότι ανήκει στο δεύτερο μέρος του ερωτηματολογίου. Η συγκεκριμένη ερώτηση είναι μια ερώτηση πολλαπλών επιλογών. Όπως έχει προαναφερθεί οι φοιτητές δεν είχαν τη δυνατότητα να αλλάξουν τις απαντήσεις τους στις ανοιχτού τύπου ερωτήσεις του Α' μέρους επηρεαζόμενοι από τις πιθανές απαντήσεις στο δεύτερο μέρος. Κι αυτό επειδή πρώτα παρέδιδαν το Α μέρος και στη συνέχεια τους δινόταν το δεύτερο μέρος προς απάντηση.

Η τέταρτη λοιπόν ερώτηση η εξής: «Ένα σωματίδιο σκόνης είναι τοποθετημένο μπροστά σε ένα κλειστό ηχείο (βλέπε σχήμα). Το ηχείο τίθεται σε λειτουργία και εκπέμπει μία νότα σταθερής (χαμηλής) συχνότητας. Ποια πρόταση ή ποιος συνδυασμός από τις παρακάτω προτάσεις (α)-(στ) μπορεί να περιγράψει την κίνηση του σωματιδίου σκόνης όταν το ηχείο τεθεί σε λειτουργία;



Κυκλώστε το γράμμα ή τα γράμματα που αντιστοιχούν στη σωστή απάντηση. Εξηγήστε.

Πιθανές απαντήσεις στην ερώτηση:

- α) Το σωματίδιο σκόνης θα κινηθεί πάνω-κάτω.
- β) Το σωματίδιο σκόνης θα ωθηθεί μακριά από το ηχείο.
- γ) Το σωματίδιο σκόνης θα κινηθεί δεξιά-αριστερά
- δ) Το σωματίδιο σκόνης δε θα κινηθεί καθόλου
- ε) Το σωματίδιο σκόνης θα ακολουθήσει μία κυκλική διαδρομή.
- στ) Καμία από τις παραπάνω απαντήσεις δεν είναι σωστή »

Παρατηρούμε ότι οι ερωτήσεις δύο και τέσσερα είναι ίδιες. Στην ερώτηση δύο οι φοιτητές καλούνται να ανακαλέσουν από τις γνώσεις τους τη σωστή απάντηση και να αιτιολογήσουν την απάντησή τους ενώ στην τέσσερα να την αναγνωρίσουν μεταξύ των έξι πιθανών απαντήσεων. Στην εκφώνηση αναφέρεται ότι την κίνηση του σωματιδίου σκόνης μπορεί κανείς να την περιγράψει και με συνδυασμό απαντήσεων ώστε οι επιλογές να είναι περισσότερες.

Η κατηγοριοποίηση είναι ίδια αυτή της δεύτερης ερώτησης και είναι σύμφωνη με άλλες έρευνες που έχουν αναφερθεί στην αρχή^[7]. Ορίζονται πέντε κατηγορίες. Στην α κατηγορία κατατάσσονται, όπως και στη δεύτερη ερώτηση, όσοι απάντησαν σωστά ότι το σωματίδιο σκόνης θα κινηθεί δεξιά-αριστερά, δηλαδή όσοι επέλεξαν την απάντηση γ μόνο. Στη β κατηγορία όσοι έδωσαν απαντήσεις που φανερώνουν ότι το σωματίδιο σκόνης θα κινηθεί με άλλο τρόπο κάνοντας κάποιου είδους ταλάντωση. Όσοι δηλαδή επέλεξαν την α μόνη της ή σε συνδυασμό με κάποια άλλη ή τη γ σε συνδυασμό όμως με κάποια άλλη, χωρίς την επιλογή β και στις δύο περιπτώσεις. Κανένας φοιτητής αυτής της κατηγορίας δεν έχει συμπεριλάβει την επιλογή β στην απάντησή του.

Στη γ κατηγορία κατατάσσονται όσοι επέλεξαν την επιλογή β μόνο, όσοι δηλαδή θεώρησαν ότι το σωματίδιο θα ωθηθεί μακριά από το ηχείο, ή τη β μαζί με κάποια άλλη. Στην δ κατηγορία τοποθετούνται όσοι επέλεξαν μόνο την επιλογή στ, ότι δηλαδή καμία από τις απαντήσεις που δίνονται στην ερώτηση δεν είναι σωστή και στην τελευταία ε κατηγορία όσοι δεν απάντησαν στην ερώτηση.

Σ' αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι το ποσοστό των φοιτητών που επέλεξε παραπάνω από μία επιλογή στην απάντηση γενικά είναι σχετικά μικρό. Το 10% του συνολικού δείγματος που ανήκει στην κατηγορία «άλλη ταλάντωση» (κατηγορία β) και το 10 % του συνολικού δείγματος που ανήκει στην κατηγορία «ώθηση μακριά» (κατηγορία γ) απάντησε με παραπάνω από μία επιλογή.

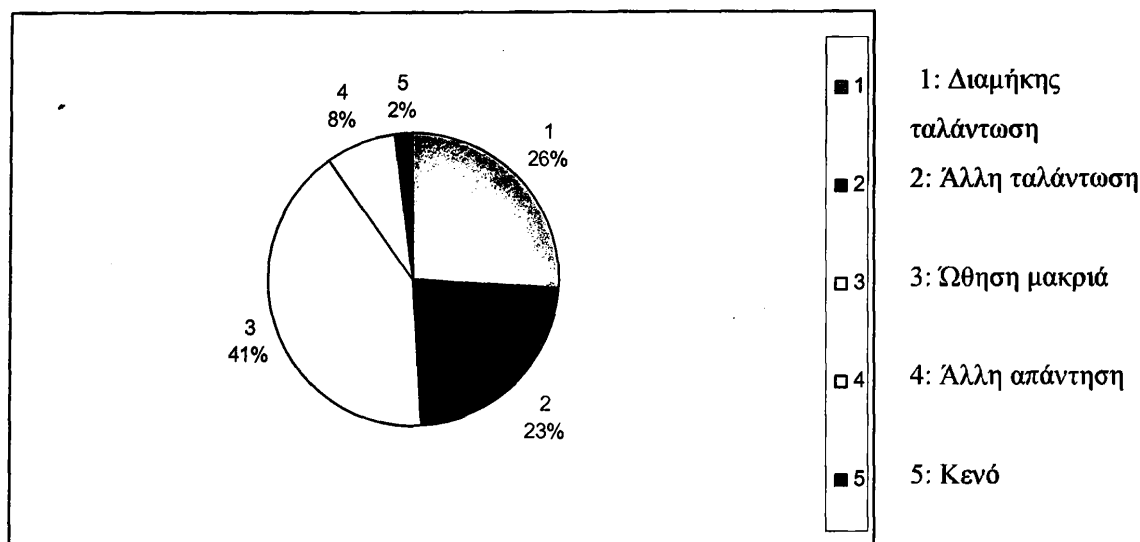
Όπως αναφέρθηκε και στην ανάλυση της ερώτησης 2 μία λανθασμένη αντίληψη των φοιτητών όσον αφορά στη διάδοση ενός ηχητικού κύματος είναι ότι το κύμα αντιμετωπίζεται σαν να είναι ικανό να ασκεί δύναμη στο μέσο κατά τη διάδοσή του στην κατεύθυνση διάδοσής του^[7], σαν μια ουσία που σπρώχνει τον αέρα που υπάρχει μπροστά του καθώς διαδίδεται^[2]. Γι' αυτό και στην ερώτηση αυτή υπάρχει σαν επιλογή και αποτελεί όπως θα φανεί και παρακάτω στην ανάλυση της παρούσας έρευνας την πιο συνηθισμένη λάθος απάντηση.

Στη συνέχεια παρατίθενται ο πίνακας 3.9.1 με τα ποσοστά επί τοις εκατό για κάθε κατηγορία και το γράφημα 3.9.2 που αντιστοιχεί στα ποσοστά αυτά.

Πίνακας 3.9.1

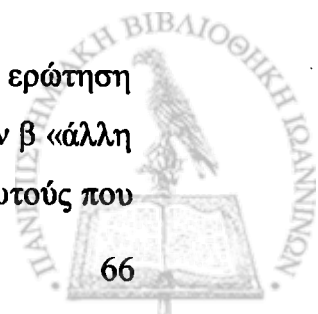
Η κίνηση του σωματιδίου σκόνης θα είναι:	N=51
α) διαμήκης ταλάντωση	26%
β) άλλη ταλάντωση	23%
γ) ώθηση μακριά	41%
δ) τίποτα από τα παραπάνω	8%
ε) κενό	2%

Γράφημα 3.9.1



Διαπιστώνουμε ότι το 26% των φοιτητών απαντούν σωστά στην ερώτηση επιλέγοντας ότι το σωματίδιο θα κινηθεί δεξιά αριστερά. Το ποσοστό των σωστών απαντήσεων αυξήθηκε κατά 7% σε σύγκριση με τις απαντήσεις στην ερώτηση ανοικτού τύπου. Περισσότεροι αναγνωρίζουν τη σωστή απάντηση στην ερώτηση αυτή.

Όμως το ένα τρίτο των φοιτητών που είχαν απαντήσει σωστά στη δεύτερη ερώτηση του ερωτηματολογίου άλλαξε επιλογή και κατηγοριοποιήθηκαν κάποιοι στην β «άλλη ταλάντωση» και ένας στη γ «ώθηση μακριά». Οι περισσότεροι όμως από αυτούς που



απάντησαν σωστά στη ανοιχτού τύπου ερώτηση, σκέφτηκαν με τον επιστημονικά ορθό τρόπο και στην ερώτηση πολλαπλών επιλογών. Δείχνουν δηλαδή ότι δεν επηρεάζονται από τις υπόλοιπες επιλογές της ερώτησης που βασίζονται σε συνηθισμένες λάθος απαντήσεις φοιτητών. Οι σύγκριση των απαντήσεων των φοιτητών και στις δύο ερωτήσεις είναι πιο εύκολο να φανούν στον συγκεντρωτικό πίνακα 3.8 που υπάρχει παρακάτω.

Στην ερώτηση αυτή ζητήθηκαν εξηγήσεις από τους φοιτητές για την επιλογή τους. Μόνο το 8% του συνολικού δείγματος δικαιολόγησε την απάντησή του που αντιστοιχεί σε τέσσερις φοιτητές. Από αυτούς οι τρεις απάντησαν σωστά με ορθή αιτιολόγηση όπως ο παρακάτω: «Σε ένα διάμηκες κύμα δημιουργούνται πυκνώματα και αραιώματα. Τα σωματίδια ταλαντώνονται (δεξιά-αριστερά).» Ο τέταρτος ανέφερε ότι το σωματίδιο θα ταλαντωθεί πάνω-κάτω εξαιτίας του κύματος. Οι υπόλοιποι αυτής της κατηγορίας (α) στην τέταρτη ερώτηση είχαν δώσει απαντήσεις στην ανοιχτού τύπου ερώτηση με τις οποίες κατατάχθηκαν στην κατηγορία «άλλη ταλάντωση».

Στη β κατηγορία το ποσοστό μειώθηκε σε 23%. Από αυτό το 23% οι περισσότεροι έδωσαν αντίστοιχη απάντηση και στην ερώτηση 2 και οι υπόλοιποι μοιράζονται στις άλλες κατηγορίες. Η απάντηση ότι το σωματίδιο σκόνης θα κινηθεί πάνω-κάτω ήταν η πιο κοινή μεταξύ των φοιτητών αυτής της κατηγορίας. Λίγοι επέλεξαν την α μαζί με τη γ στην απάντησή τους. Αυτοί οι φοιτητές αναγνωρίζουν ότι το σωματίδιο σκόνης θα πρέπει να κάνει ταλάντωση αλλά δεν ξέρουν τι είδους. Με ποιόν τρόπο δηλαδή θα ταλαντωθεί το σωματίδιο.

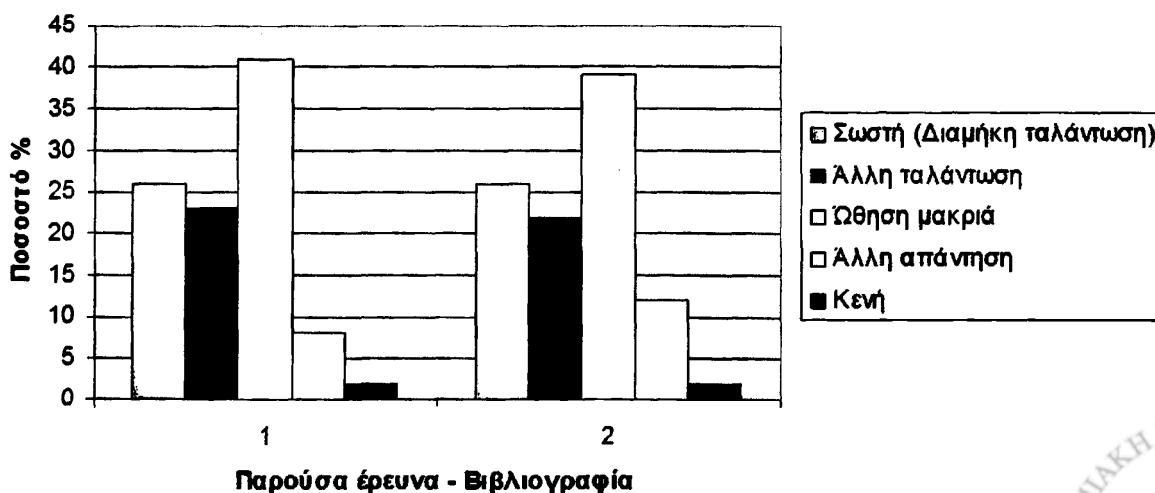
Στη γ κατηγορία το ποσοστό αυξήθηκε κατά 14% σε σχέση με την ερώτηση 2 και πλέον είναι 41%. Παρατηρείται αρκετοί φοιτητές να πιστεύουν ότι το σωματίδιο σκόνης θα ωθηθεί μακριά από το ηχείο όταν αυτό τεθεί σε λειτουργία. Από την επιλογή τους αυτή συμπεραίνεται ότι το σωματίδιο σκόνης θα ωθηθεί από τον ήχο που διαδίδεται με το άνοιγμα του ηχείου, παρόλο που αυτή η αντίληψη δεν αποδεικνύεται με περεταίρω αιτιολογήσεις των φοιτητών στο γραπτό τους. Για όσους λοιπόν απαντούν επιλέγοντας τη β πρόταση, ο ήχος καθώς διαδίδεται μπορεί να ασκεί δύναμη κατά τη διεύθυνση διάδοσής του. Αυτή η αντίληψη όπως αναφέρθηκε και παραπάνω είναι μία συνηθισμένη λάθος αντίληψη σε ερωτώμενους για τη διάδοση ενός ηχητικού κύματος ^[2] ^[6]. Όπως φαίνεται και στον συγκεντρωτικό πίνακα 3.9.2 η πλειοψηφία των φοιτητών αυτής της κατηγορίας είχαν απαντήσει με τον ίδιο τρόπο και στην ερώτηση ανοιχτού τύπου. Μπορεί να σημειωθεί ότι όλοι, εκτός από έναν,

που απάντησαν στην ανοιχτού τύπου ερώτηση ότι το σωματίδιο σκόνης θα απομακρυνθεί από το ηχείο παρέμειναν πιστοί σ' αυτήν την αντίληψη και στην ερώτηση πολλαπλών επιλογών, επιλέγοντας την πρόταση β μόνο ή σε συνδυασμό με κάποια άλλη.

Υπήρξαν και κάποιοι φοιτητές οι οποίοι απάντησαν ότι καμία από τις προτεινόμενες κινήσεις δεν είναι σωστές. Το ποσοστό που αντιστοιχεί σ' αυτούς είναι 8%. Επίσης ένας φοιτητής άφησε την ερώτηση κενή. Στις δύο αυτές περιπτώσεις απαντήσεων δεν μπορεί να εξαχθεί κάποιο συμπέρασμα.

Τα ποσοστά αυτής της ερώτησης μπορούν να συγκριθούν με ποσοστά άλλων ερευνών. Συγκεκριμένα έχουν γίνει έρευνες στο Πανεπιστήμιο του Μέριλαντ από τους Michael C. Wittmann, Richard N. Steinberg, Edward F. Redish^[6]. Από συνεντεύξεις και απαντήσεις μηχανικών που παρακολουθούσαν σειρά μαθημάτων για τη φυσική βρέθηκε ότι η παραδοσιακή διδασκαλία με μορφή διαλέξεων και με προβλήματα στο σπίτι δε βοηθάει σημαντικά στην κατανόηση των φοιτητών^[6]. Τα ποσοστά που παρουσιάζονται στην έρευνά τους μετά από το παραδοσιακό μάθημα είναι εντυπωσιακά όμοια με αυτά στην παρούσα έρευνα. Τα ποσοστά τους σε δείγμα $N = 137$ είναι: 26% σωστές απαντήσεις, 22% στην κατηγορία «άλλη ταλάντωση», 39% στην κατηγορία «ώθηση μακριά», 12% έδωσαν άλλη απάντηση και 2% των φοιτητών άφησαν την ερώτηση κενή. Στο παρακάτω γράφημα 3.9.2 φαίνονται τα ποσοστά της παρούσας έρευνας καθώς και τα αντίστοιχα ποσοστά για την έρευνα της βιβλιογραφίας^[6]

Γράφημα 3.9.2



Παρακάτω παρατίθεται ο συγκεντρωτικός πίνακας 3.9.2 των απαντήσεων των φοιτητών στις ερωτήσεις 2 και 4. Υπενθυμίζεται ότι κι σ' αυτόν τον πίνακα 3.7.2 οι αναγραφόμενοι αριθμοί δεν είναι ποσοστά επί τοις εκατό αλλά φοιτητές. Βλέπουμε ότι 14 φοιτητές ανέφεραν ότι το σωματίδιο θα απομακρυνθεί από το ηχείο. Όπως όμως είχε σημειωθεί κανένας τους δεν είχε αναφέρει τον όρο δύναμη στις αιτιολογήσεις τους. Από αυτούς τους φοιτητές μόνο ένας άλλαξε άποψη στην ερώτηση πολλαπλών επιλογών και απάντησε σωστά ότι το σωματίδιο σκόνης θα εκτελέσει διαμήκη ταλάντωση. Οι υπόλοιποι απάντησαν ότι το σωματίδιο θα ωθηθεί μακριά. Αυτοί λοιπόν εμμένουν στη λανθασμένη άποψή τους φαίνεται να είναι πιο ισχυρή σε σχέση με άλλες. Για αυτούς τους φοιτητές μπορούμε να πούμε ότι υπάρχει συνέπεια στον τρόπο που απαντούν. Εμφανίζεται και στην παρούσα έρευνα η αντίληψη ότι ο ήχος μπορεί να ασκήσει δύναμη κατά τη διάδοσή του και να ωθήσει το σωματίδιο σκόνης μακριά.

Συγκεντρωτικός πίνακας 3.9.2

N=51

**ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ
ΕΡΩΤΗΣΗ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΤΥΠΟΥ**

Η κίνηση του σωματιδίου σκόνης θα είναι:	α) διαμήκης ταλάντωση	β) άλλη ταλάντωση	γ) απομάκρυνση από το ηχείο	δ) άλλη απάντηση	ε) κενό
α) διαμήκης ταλάντωση	6	4	1	1	1
β) άλλη ταλάντωση	2	6		2	2
γ) ώθηση μακριά	1	1	13	4	2
δ) τίποτα από τα παραπάνω		4			
ε) κενό		1			

**ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ
ΣΤΗΝ
ΕΡΩΤΗΣΗ
ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ
ΕΠΙΛΟΓΩΝ**

3.10 Πέμπτη ερώτηση

Με την πέμπτη ερώτηση του ερωτηματολογίου θα μελετηθούν οι απόψεις των φοιτητών όσον αφορά στις παραμέτρους που επηρεάζουν την ταχύτητα διάδοσης του ήχου στον αέρα. Όπως και στις ερωτήσεις 1 και 3 θα διερευνηθεί αν διαφορετικοί παράγοντες κατά τη δημιουργία του κύματος (συχνότητα και ένταση) επηρεάζουν την ταχύτητα διάδοσής του. Σ' αυτήν την ερώτηση τα κύματα είναι ηχητικά. Αυτά δημιουργούνται από δύο ανθρώπους οι οποίοι φωνάζουν «Γεια» ο ένας στον άλλο. Η ερώτηση όπως αυτή δόθηκε στο ερωτηματολόγιο δίνεται παρακάτω:

«Ο Μιχάλης και η Άννα απέχουν απόσταση 100m και φωνάζουν ο ένας στον άλλο «Γεια!» ακριβώς την ίδια χρονική στιγμή. Ο Μιχάλης φωνάζει πιο δυνατά από την Άννα και ο τόνος (η συχνότητα) της φωνής του είναι πιο χαμηλός. Υποθέστε ότι δεν πνέει άνεμος.

Η Άννα θα ακούσει πρώτη τον Μιχάλη, ο Μιχάλης την Άννα, ή θα ακούσουν ταυτόχρονα ο ένας τον άλλο; Εξηγήστε πως καταλήξατε στην απάντησή σας.»

Στα ηχητικά κύματα που δημιουργούνται όταν οι δύο άνθρωποι φωνάζουν έχουμε διαφορετικά δεδομένα. Η ένταση και η συχνότητες είναι διαφορετικές. Επιχειρείται να διερευνηθεί πόσοι φοιτητές πιστεύουν ότι ηχητικά κύματα διαφορετικής συχνότητας ή διαφορετικής έντασης διαδίδονται στον αέρα με διαφορετική ταχύτητα.

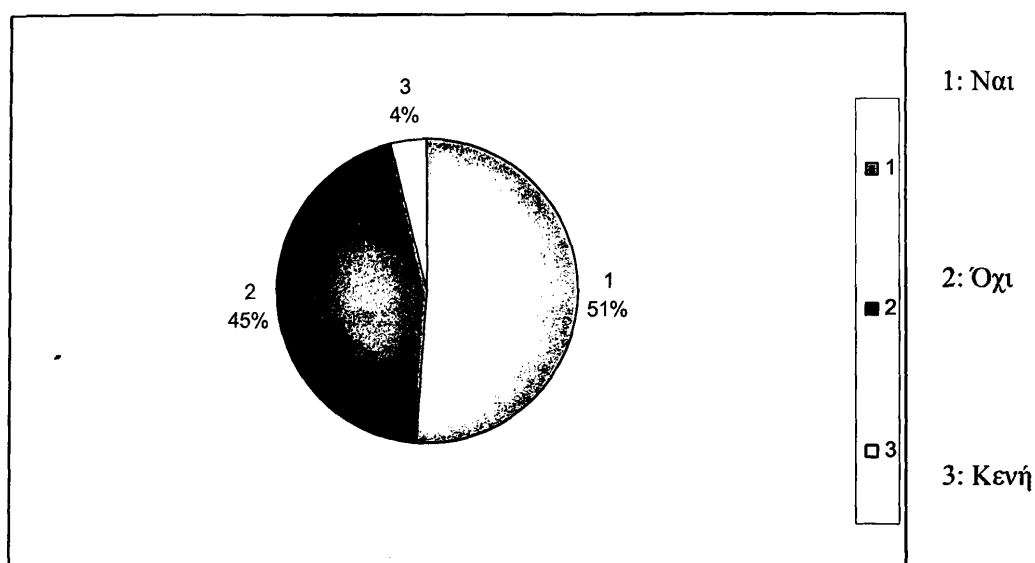
Οι απαντήσεις των φοιτητών χωρίστηκαν σε τρεις κατηγορίες. Στην α κατηγορία τοποθετούνται όσοι ανέφεραν ότι ο Μιχάλης και η Άννα θα ακουστούν ταυτόχρονα. Στη β όσοι πιστεύουν το αντίθετο και τέλος στη γ όσοι αφήνουν την ερώτηση κενή. Οι εξηγήσεις των φοιτητών στις πρώτες δύο κατηγορίες θεωρούνται σημαντικές όπως θα φανεί παρακάτω για τον τρόπο με τον οποίο σκέφτονται για τη διάδοση ενός κύματος και στην προκειμένη περίπτωση ηχητικού που διαδίδεται στον αέρα.

Στη συνέχεια παρατίθενται ο πίνακας 3.10.1 με τα ποσοστά και το αντίστοιχο γράφημα 3.10.1 για την πέμπτη ερώτηση του ερωτηματολογίου.

Πίνακας 3.10.1

Ο Μιχάλης και η Άννα θα ακουστούν ταυτόχρονα;	N=51
α) Ναι	51%
β) Όχι	45%
γ) Κενή	4%

Γράφημα 3.10.1



Εξεκινώντας την ανάλυση για την ερώτηση αυτή, βλέπουμε από τα παραπάνω δεδομένα ότι το ποσοστό των σωστών απαντήσεων έχει αυξηθεί κατά πολύ σε σχέση με τις προηγούμενες ερωτήσεις. Οι φοιτητές που απάντησαν σωστά είναι περίπου το 51% του συνολικού δείγματος. Το ποσοστό αυτό αντιστοιχεί σε 26 φοιτητές από τους 51.

Αυτό που ενδιαφέρει στην α κατηγορία είναι ο τρόπος με τον οποίο οι φοιτητές αιτιολόγησαν τις απαντήσεις τους. Από τα 26 άτομα που απάντησαν σωστά οι 7 αναφέρουν ξεκάθαρα ότι ο Μιχάλης και η Άννα θα ακούσουν ταυτόχρονα ο ένας τον άλλο επειδή η ταχύτητα διάδοσης των ηχητικών κυμάτων εξαρτάται από τις ιδιότητες του μέσου κι όχι από τη συχνότητα ή την ένταση. Ένα παράδειγμα απάντησης που θεωρήθηκε σωστή και στην οποία γίνεται αναφορά στο μέσο είναι η εξής «Θα

ακούσουν ταυτόχρονα αφού η μετάδοση του κύματος εξαρτάται από τις ιδιότητες του μέσου το οποίο παραμένει ίδιο.» κι άλλο: «Η ταχύτητα διάδοσης εξαρτάται από το ελαστικό μέσο άρα λογικά ταυτόχρονα θα ακούσου»

Πέντε φοιτητές που τοποθετήθηκαν κι αυτοί στην α κατηγορία χρησιμοποίησαν στην εξήγησή τους μόνο το γεγονός ότι ο Μιχάλης και η Άννα είναι ακίνητοι. Τράβηξε την προσοχή τους αυτό το δεδομένο της εκφώνησης. Οι συγκεκριμένοι δεν παρασύρθηκαν από τη διαφορετική ένταση ή συχνότητα, παράγοντες που δεν αναφέρθηκαν στις εξηγήσεις τους. Κάποιοι από αυτούς (τους 5) ανέφεραν κι ότι δεν υπάρχει φαινόμενο Doppler. Παραδείγματος χάριν «Ταυτόχρονα θα ακούσει ο Μιχάλης την Άννα και η Άννα τον Μιχάλη αφού δεν κινούνται άρα δεν έχουμε φαινόμενα Doppler» Σε σύγκριση που έγινε με απαντήσεις των συγκεκριμένων 5 φοιτητών στην πρώτη ερώτηση του ερωτηματολογίου, διαπιστώθηκε ότι όλοι τους είχαν απαντήσει σωστά σε εκείνη, εξηγώντας ότι η ταχύτητα διάδοσης εξαρτάται μόνο από ιδιότητες του μέσου. Υπάρχει λοιπόν πιθανότητα στην πέμπτη ερώτηση να εστίασαν την προσοχή τους περισσότερο στο ότι οι άνθρωποι είναι ακίνητοι και να προσπάθησαν να εξηγήσουν σε σχέση μ' αυτό, χωρίς να συνδυάζουν τη γνώση που φαίνεται να φέρουν από την πρώτη ερώτηση.

Από τους υπόλοιπους αυτής της κατηγορίας οι περισσότεροι δεν έδωσαν εξηγήσεις. Απλώς ανέφεραν ότι ο Μιχάλης και η Άννα θα ακουστούν ταυτόχρονα. Άλλοι ανέφεραν ότι η ταχύτητα διάδοσης είναι σταθερή δίνοντας και την τιμή της, άλλοι χωρίς αιτιολόγηση ή ότι είναι ανεξάρτητη της συχνότητας και της έντασης χωρίς να αναφέρουν από τι εξαρτάται. Όπως έχει προαναφερθεί, σε μια ερώτηση ανοιχτού τύπου ο καθένας εξηγεί όσο ο ίδιος θεωρεί σημαντικό.

Παρά τις διαφορές στις αιτιολογήσεις ή την έλλειψη αιτιολόγησης, συγκρίνοντας τις σωστές απαντήσεις στην πρώτη και στην πέμπτη ερώτηση παρατηρείται ότι η πλειοψηφία των φοιτητών που απάντησαν σωστά στην 1 απάντησαν σωστά και στην 5 (15 φοιτητές απάντησαν σωστά στην 1 και 11 από αυτούς απάντησαν σωστά και στην 5).

Στη β κατηγορία, σ' αυτούς δηλαδή που απάντησαν ότι δε θα ακουστούν ταυτόχρονα ανήκει περίπου το 45% του συνολικού δείγματος. Το ποσοστό αυτό μεταφράζεται σε 23 φοιτητές. Από αυτούς το 78% αιτιολογεί την απάντησή του αναφέροντας τη συχνότητα. Δε θεωρήθηκε σημαντικός παράγων για την κατηγοριοποίηση των απαντήσεων, το αν θα ακούσει ο Μιχάλης την Άννα πρώτος ή η Άννα τον Μιχάλη.



Ένα παράδειγμα απάντησης αυτής της κατηγορίας είναι το εξής: «*Η Άννα θα ακουστεί πρώτη από τον Μιχάλη γιατί είναι ψηλότερη η συχνότητα της φωνής της.*» Σε άλλη απάντηση αναφέρεται και η περίοδος: «*Η Άννα θα ακούσει πρώτη τον Μιχάλη γιατί η συχνότητα της φωνής του είναι μικρότερη άρα η περίοδος μεγαλύτερη.*» Θεωρούν λοιπόν ότι η συχνότητα ή η περίοδος ενός ηχητικού κύματος το οποίο διαδίδεται στον αέρα επηρεάζουν την ταχύτητα διάδοσής του. Η αντίληψη αυτή είχε εμφανιστεί και στην ερώτηση 1.

Οι περισσότεροι αυτής της κατηγορίας ισχυρίζονται ότι μεγαλύτερη συχνότητα σημαίνει και μεγαλύτερη ταχύτητα διάδοσης. Αρκετοί στις εξηγήσεις τους χρησιμοποιούν την εξίσωση της κυματικής $u=\lambda \cdot f$ για να αιτιολογήσουν τον συλλογισμό τους. Παράδειγμα τέτοιων απαντήσεων είναι το εξής: «*Από τη σχέση $u=\lambda \cdot f$ και λόγω του ότι ο Μιχάλης έχει πιο χαμηλή συχνότητα, ο Μιχάλης θ' ακούσει πρώτος την Άννα και μετά η Άννα τον Μιχάλη.*» Σε παρόμοια απάντηση φοιτητές γράφουν την εξίσωση δύο φορές, μία για κάθε κύμα και διαιρούν κατά μέλη θεωρώντας το μήκος κύματος σταθερό. Παραπάνω από τους μισούς φοιτητές που απαντούν έτσι έχουν απαντήσει με τον ίδιο τρόπο και στην ερώτηση 1, είτε αναφέροντας τον τύπο είτε απλώς τον όρο συχνότητα.

Μόνο δύο φοιτητές αυτής της κατηγορίας αιτιολόγησαν αναφέροντας τη διαφορετική ένταση και ένας άλλος στην εξήγησή του είπε «*Η Άννα. Το κόμα του Μιχάλη έχει μεγαλύτερη ενέργεια (ταχύτητα διάδοσης)*»

Στην τελευταία κατηγορία τη γ τοποθετήθηκαν δύο φοιτητές οι οποίοι δε συμπλήρωσαν την ερώτηση.

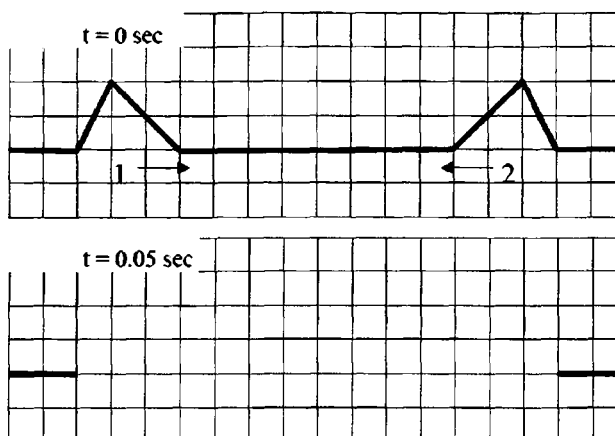
Ολοκληρώνοντας αξίζει να σημειωθεί ότι τις δυσκολίες που φαίνεται να αντιμετωπίζουν οι φοιτητές όσον αφορά την ταχύτητα διάδοσης του ήχου έπρεπε να τις ξεπεράσουν και οι επιστήμονες. Στο τέλος του 18^{ου} αιώνα, οι Gassendi και Nollet έκαναν πειράματα για τον ήχο με τα οποία απέδειξαν ότι η ταχύτητά του δεν εξαρτάται από την ένταση και τη συχνότητα αντίστοιχα^[1].

3.11 Έκτη ερώτηση

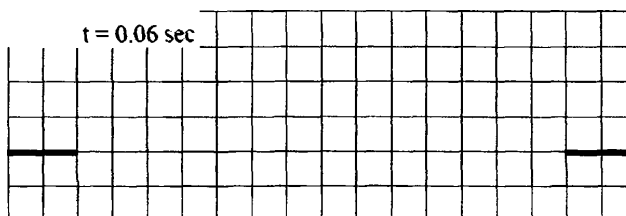
Με την έκτη ερώτηση του ερωτηματολογίου γίνεται προσπάθεια να διερευνηθούν οι αντιλήψεις των φοιτών όσον αφορά στη συμβολή κυμάτων σε σχοινί. Στη συγκεκριμένη ερώτηση οι παλμοί που πρόκειται να συμβάλουν δεν είναι συμμετρικοί αλλά έχουν το ίδιο πλάτος και κινούνται ο ένας προς τον άλλο. Η ερώτηση που δόθηκε ήταν η εξής:

«Θεωρήστε δύο παλμούς σε ένα σχοινί όπως φαίνεται στο σχήμα. Κινούνται ο ένας προς τον άλλο με ταχύτητα 100cm/sec . Κάθε τετράγωνο στο σχήμα αναπαριστά 1cm .

Σχεδιάστε στο σχήμα δεξιά τη μορφή του σχοινιού μετά από $0,05\text{ sec}$. Εξηγήστε πως καταλήξατε στην απάντησή σας.



Σχεδιάστε στο σχήμα δεξιά τη μορφή του σχοινιού μετά από $0,06\text{ sec}$. Εξηγήστε πως καταλήξατε στην απάντησή σας.»



Η ερώτηση αποτελούνταν από δύο υποερωτήματα. Ζητήθηκε από τους φοιτητές να σχεδιάσουν τη μορφή του σχοινιού σε δύο διαφορετικές στιγμές. Όπως έχει αναφερθεί και στο κεφάλαιο 1 σωστή είναι η απάντηση στην οποία οι φοιτητές δείχνουν ότι όταν οι δύο παλμοί συνευρίσκονται, η πραγματική μετατόπιση οποιουδήποτε σημείου στο σχοινί, κάθε χρονική στιγμή, βρίσκεται προσθέτοντας τη μετατόπιση που θα είχε το σημείο εάν μόνο το πρώτο κύμα ήταν παρόν και τη μετατόπιση που θα είχε μόνο από το δεύτερο κύμα.

Στο πρώτο υποερώτημα ζητείται η μορφή του σχοινιού τη στιγμή που οι παλμοί συνευρίσκονται χωρίς όμως οι κορυφές τους να συμπίπτουν ενώ στο δεύτερο τη στιγμή που οι κορυφές συμπίπτουν. Από προηγούμενες έρευνες έχει φανεί ότι οι φοιτητές αντιμετωπίζουν δυσκολίες στις συγκεκριμένες περιπτώσεις^[5,7]. Ζητώντας το

σχήμα του σχοινοῦ στην περίπτωση που οι κορυφές δε συμπίπτουν μπορούμε να ερευνήσουμε αν οι φοιτητές προσθέτουν τις μετατοπίσεις εξαιτίας και των δύο κυμάτων σε όλα τα σημεία κατά μήκος του σχοινοῦ κι όχι μόνο στις κορυφές. Στη συνέχεια ζητώντας το σχήμα του σχοινοῦ όταν οι κορυφές συμπίπτουν μπορούμε να συγκρίνουμε τις δύο απαντήσεις τους και να δούμε το σχήμα του παλμού που σχεδίασαν. Μπορούμε να δούμε αν οι φοιτητές αντιλαμβάνονται τον παλμό σα μια διαδιδόμενη διαταραχή ή αν κάνουν απλοποιήσεις περιγράφοντας τον παλμό μόνο από το σημείο της κορυφής του.

Στη συνέχεια θα σχολιαστούν οι απαντήσεις και θα δοθούν αντίστοιχοι πίνακες και γραφήματα για τα δύο υποερωτήματα ξεχωριστά και κατόπιν ένας γενικός πίνακας που αναφέρεται στις απαντήσεις των φοιτητών και στα δύο υποερωτήματα μαζί.

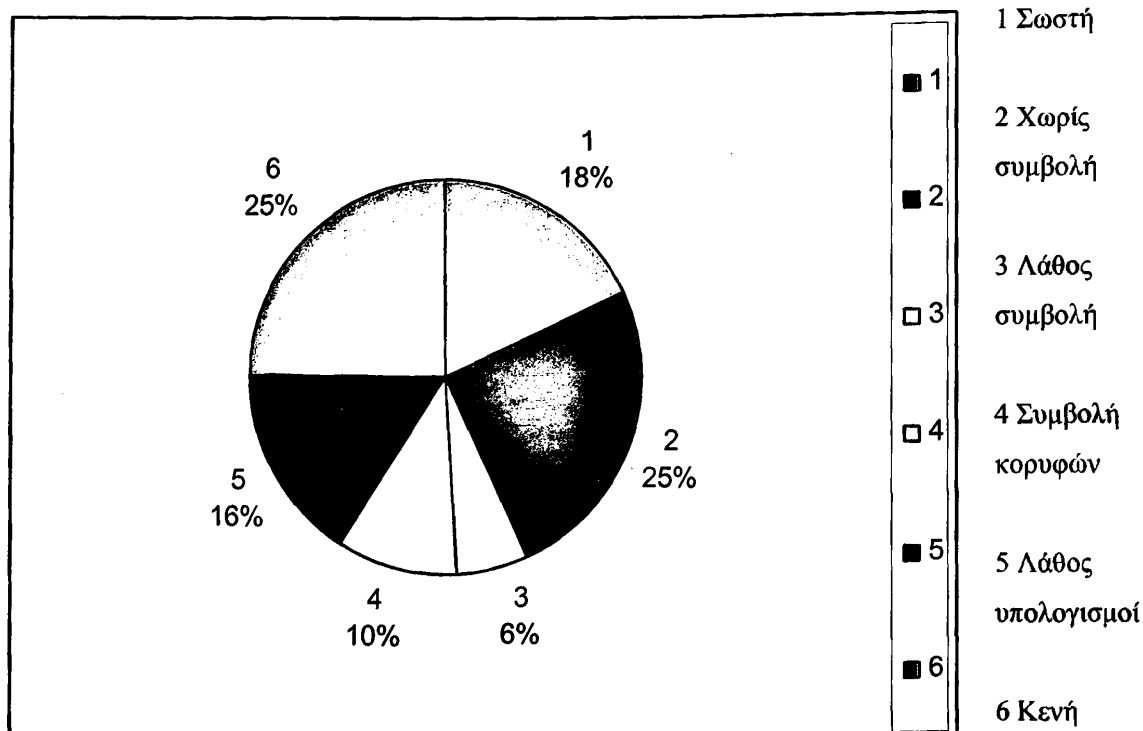
Η κατηγοριοποίηση των απαντήσεων για το πρώτο υποερώτημα, όπως έχει προαναφερθεί, έχει ως εξής: Στην α κατηγορία τοποθετήθηκαν όλοι όσοι απάντησαν σωστά στην ερώτηση, στη β όσοι απλώς σχεδίασαν στις σωστές θέσεις τους παλμούς χωρίς όμως να δείχνουν ότι αυτοί συμβάλλουν με οποιονδήποτε τρόπο, στη γ όσοι έδειξαν ότι συμβάλλουν αλλά με λάθος τρόπο και στη δ όσοι σχεδίασαν τις κορυφές να συμβάλλουν ενώ αυτές δε συμπίπτουν. Για τους φοιτητές των οποίων οι απαντήσεις ανήκουν στις κατηγορίες ε και στ δεν ήταν δυνατό να εξαχθεί κάποιο συμπέρασμα για τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβάνονται τη συμβολή των παλμών. Αυτοί της ε κατηγορίας έκαναν λάθος υπολογισμούς με αποτέλεσμα οι παλμοί που σχεδίασαν να μη συμβάλλουν και αυτοί της στ κατηγορίας άφησαν την ερώτηση κενή. Ο πίνακας 3.11.1 και το γράφημα 3.11.1 με τα ποσοστά των απαντήσεων των φοιτητών φαίνονται παρακάτω.

Πίνακας 3.11.1

N=51

α) Σωστό σχήμα σχοινού (σωστή συμβολή)	18%
β) Απεικόνιση μόνο των παλμών χωρίς συμβολή	25%
γ) Συμβολή με λάθος τρόπο	6%
δ) Συμβολή κορυφών χωρίς αυτές να συμπίπτουν	10%
ε) Παλμοί που δε συμβάλουν (λάθος υπολογισμοί, λάθος θέση παλμών)	16%
στ) Κενό	25%

Γράφημα 3.11.1

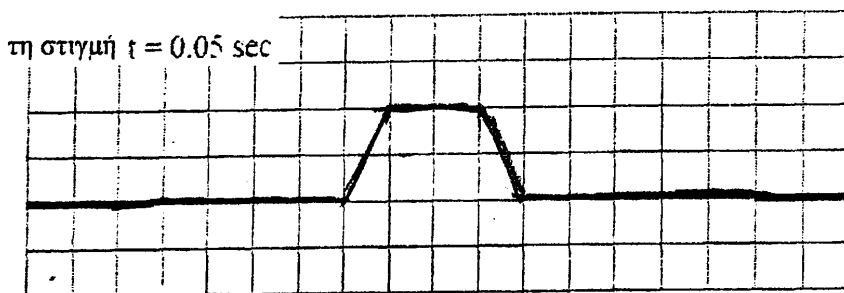


Παρατηρούμε ότι λίγο λιγότεροι από τους μισούς (41%) άφησαν το υποερώτημα α κενό ή οι υπολογισμοί που έκαναν τους οδήγησαν να σχεδιάσουν τους παλμούς σε

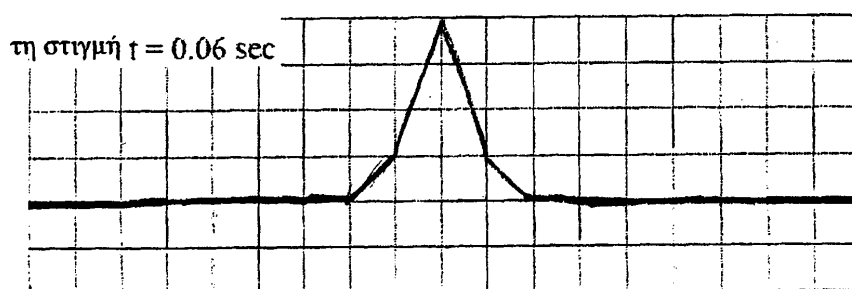
λάθος θέσεις. Το αποτέλεσμα είναι να μην μπορεί να εξαχθεί κάποιο συμπέρασμα όσον αφορά στις αντιλήψεις των συγκεκριμένων φοιτητών στη συμβολή.

Σωστά σ' αυτό το υποερώτημα απάντησε το 18% των φοιτητών. Οι περισσότεροι από αυτούς απάντησαν σωστά και στις ερωτήσεις 1 και 3 που αφορούσαν τη διάδοση ενός παλμού σε ένα σχοινί. Επίσης όλοι εκτός από δύο σχεδίασαν σωστά το σχήμα του παλμού και στο δεύτερο υποερώτημα. Φαίνεται λοιπόν οι συγκεκριμένοι φοιτητές να κατανοούν τους κανόνες που διέπουν την Κυματική Φυσική. Ένα παράδειγμα σωστής απάντησης δίνεται παρακάτω με τη βοήθεια ενός σαρωτή. Το πρώτο σχήμα (Σχήμα 3.11.1) είναι η απάντηση του φοιτητή στο πρώτο υποερώτημα και το δεύτερο (Σχήμα 3.11.2) στο δεύτερο υποερώτημα.

Σχήμα 3.11.1



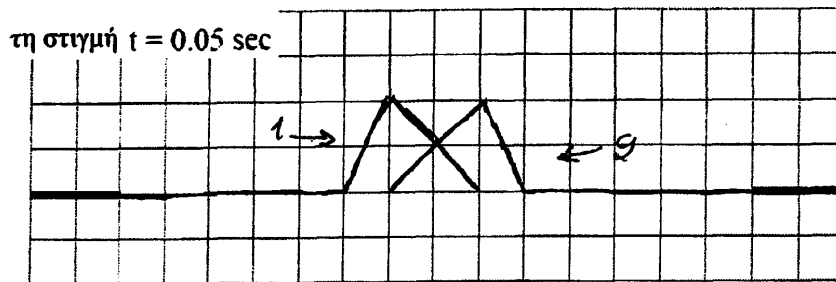
Σχήμα 3.11.2



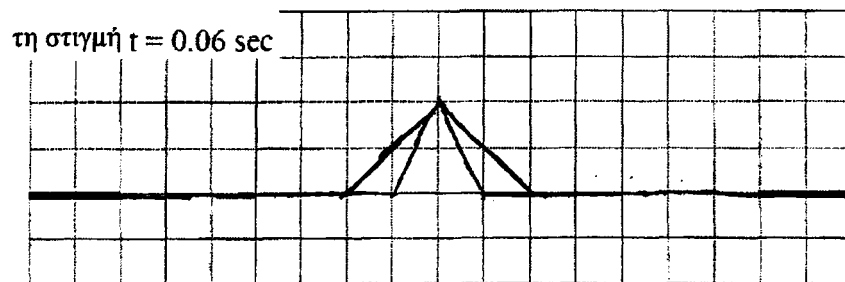
Στη β κατηγορία το ποσοστό ανέρχεται στο 25%. Αυτοί οι φοιτητές, κρίνοντας από την απάντησή τους στο συγκεκριμένο υποερώτημα, φαίνεται να μη γνωρίζουν την ιδιότητα των κυμάτων γενικά να συμβάλλουν. Όμως σε συνδυασμό με την απάντηση στο δεύτερο υποερώτημα δημιουργείται μία άλλη εντύπωση. Παραπάνω από τους μισούς δίνουν τη σωστή απάντηση στο δεύτερο υποερώτημα όπου οι κορυφές των παλμών πλέον συμπίπτουν. Οι συγκεκριμένοι λοιπόν φαίνεται να επικεντρώνονται στην κορυφή του παλμού και να εφαρμόζουν τον κανόνα της επαλληλίας μόνο όταν αυτές συμπίπτουν. Το συγκεκριμένο εύρημα θα σχολιαστεί και παρακάτω. Κάποιοι άλλοι σχεδιάζουν στα σχήματά τους μόνο και στα δύο υποερωτήματα τους δύο

παλμούς στις σωστές θέσεις χωρίς να δείχνουν ότι αυτοί συμβάλλουν. Ένα παράδειγμα φοιτητή που απάντησε με αυτόν τον τρόπο παρουσιάζεται παρακάτω στα σχήματα 3.11.3 και 3.11.4:

Σχήμα 3.11.3

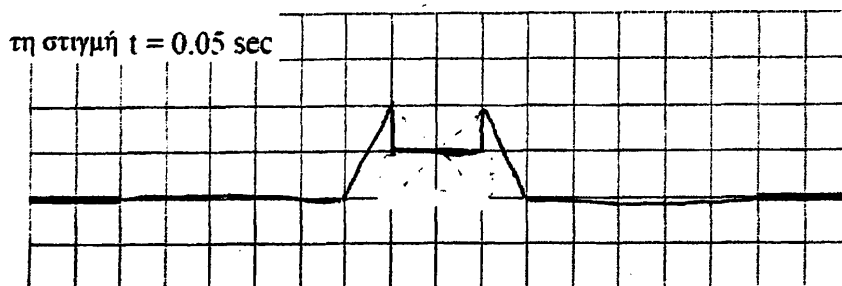


Σχήμα 3.11.4

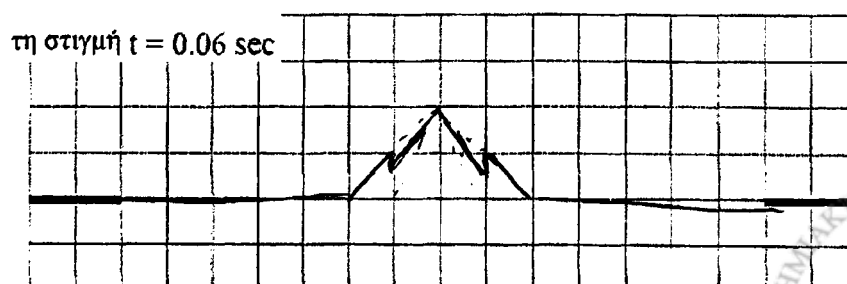


Στή γ κατηγορία (6%) ανήκουν οι φοιτητές οι οποίοι έδειξαν στο σχήμα τους ότι οι παλμοί συμβάλλουν αλλά με λάθος τρόπο, όπως για παράδειγμα ο παρακάτω (Σχήμα 3.11.5 και 3.11.6).

Σχήμα 3.11.5

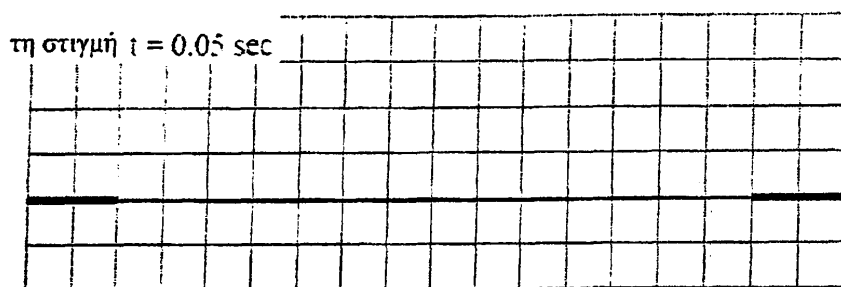


Σχήμα 3.11.6



Επίσης κι ο επόμενος φοιτητής ανήκει σ' αυτήν την κατηγορία (Σχήμα 3.11.7):

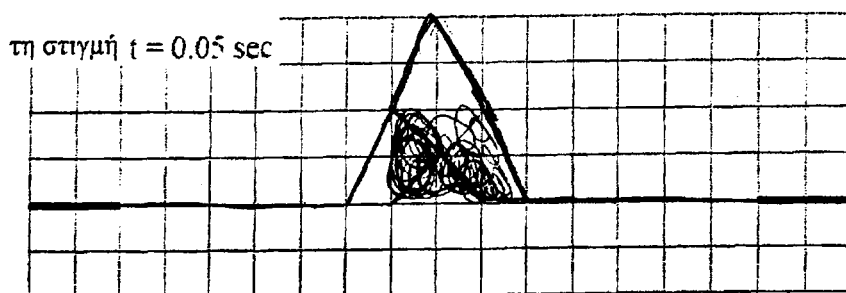
Σχήμα 3.11.7



Στην απάντησή του ανέφερε ότι: «Γενικά κατά τη συμβολή των 2 παραπάνω κυμάτων αφού έχουν ίδιο πλάτος και αντίθετες ταχύτητες το ένα θα αναιρέσει το άλλο με αποτέλεσμα το παραπάνω στιγμιότυπο.»

Στη δ κατηγορία πάλι οι φοιτητές δείχνουν να αντιλαμβάνονται ότι οι παλμοί συμβάλλουν και πάλι με λάθος τρόπο. Υπάρχει όμως λόγος οι φοιτητές αυτοί να τοποθετηθούν σε διαφορετική κατηγορία. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία η απάντηση που δίνουν είναι συνηθισμένη λάθος απάντηση σε αντίστοιχες ερωτήσεις^[5,7]. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα της κατηγορίας αυτής αποτελεί η παρακάτω απάντηση (Σχήμα 3.11.8):

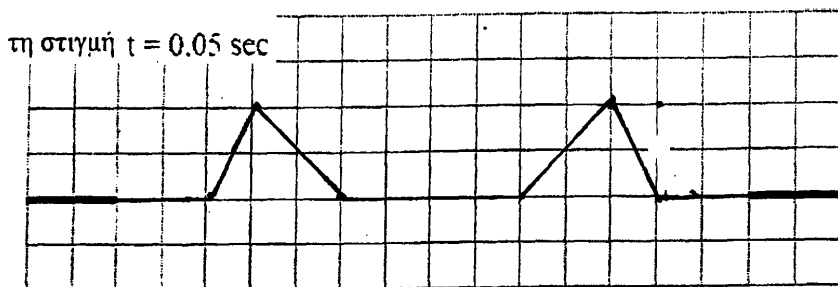
Σχήμα 3.11.8



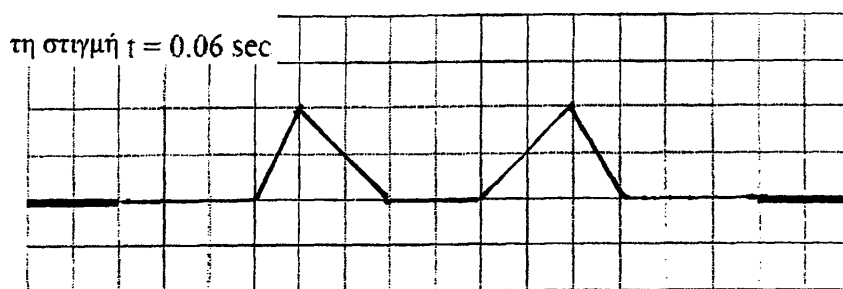
Δείχνει λοιπόν παρόλο που οι κορυφές δε συμπίπτουν ότι αυτές συμβάλλουν. Στο υποερώτημα β υποστηρίζει ότι ο ένας παλμός δεν επηρεάζει τον άλλο και σχεδιάζει απλώς τους δύο παλμού στη σωστή θέση. Όλοι εκτός από τον παραπάνω άφησαν το δεύτερο υποερώτημα κενό.

Μία απάντηση φοιτητή της ε κατηγορίας φαίνεται παρακάτω στα σχήματα 3.11.9 και 3.11.10.

Σχήμα 3.11.9



Σχήμα 3.11.10



Όπως προαναφέρθηκε το ποσοστό αυτής της κατηγορίας είναι 16% κι αυτοί που δεν απάντησαν στην ερώτηση καταλαμβάνουν το 25%.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν οι απαντήσεις των φοιτητών στο δεύτερο υποερώτημα. Όπως θα φανεί και από τα ποσοστά υπήρξαν κάποιες διαφορές στις απαντήσεις των φοιτητών γεγονός που θα σχολιαστεί παρακάτω και θα αποτελέσει στοιχείο για τον γενικό πίνακα που αναφέρεται συνολικά και στα δύο υποερωτήματα.

Η κατηγοριοποίηση των απαντήσεων είναι σχεδόν ίδια με αυτή στο πρώτο υποερώτημα και έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω, στην αρχή του κεφαλαίου. Στην κατηγορία α τοποθετούνται οι απαντήσεις των φοιτητών που εφαρμόζουν σωστά την αρχή της επαλληλίας και σχεδιάζουν σωστά το σχήμα του σχοινιού. Στη β τοποθετούνται όσοι απλώς δείχνουν τους παλμούς στη σωστή θέση χωρίς όμως να φαίνεται ότι αυτοί συμβάλουν με οποιονδήποτε τρόπο και στη γ όσοι δείχνουν να γνωρίζουν ότι οι παλμοί συμβάλλουν αλλά με λάθος τρόπο. Στις απαντήσεις της δ κατηγορίας οι παλμοί παρουσιάζονται σε διαφορετική θέση από αυτή που θα έπρεπε να βρίσκονται με αποτέλεσμα να μη συμβάλουν. Τέλος οι φοιτητές της κατηγορίας ε έχουν αφήσει την ερώτηση κενή. Όπως θα φανεί στο δεύτερο υποερώτημα λείπει μία κατηγορία αφού στην προκειμένη περίπτωση οι κορυφές των παλμών συμπίπτουν. Τα

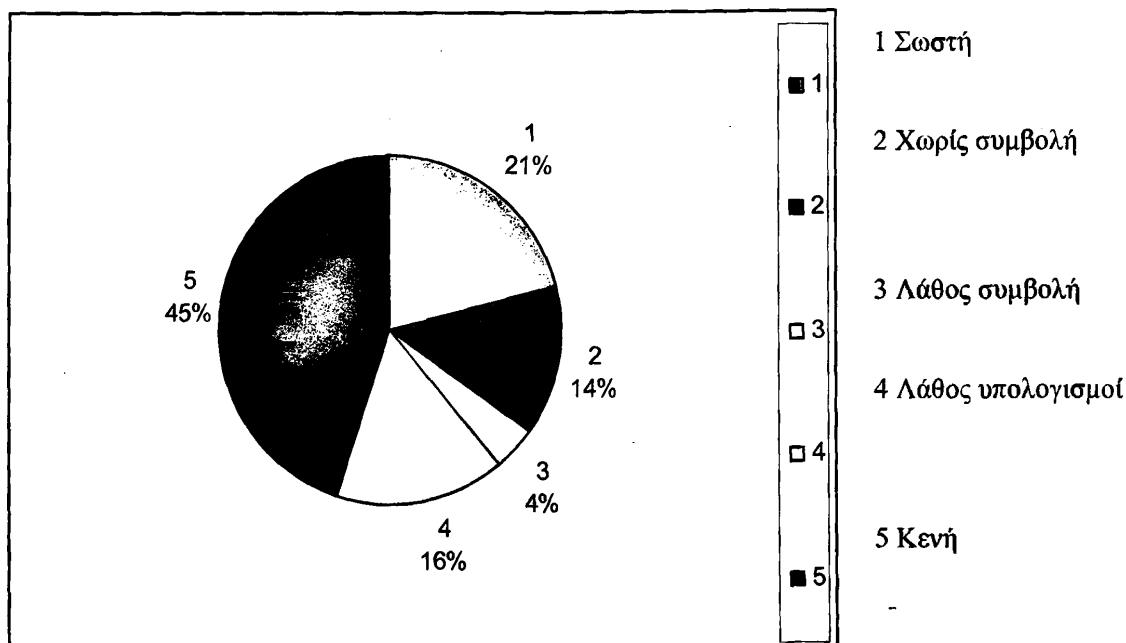
ποσοστά κάθε κατηγορίας, πίνακας 3.11.2 και το αντίστοιχο γράφημα 3.11.2 παρουσιάζονται παρακάτω.

Πίνακας 3.11.2

N=51

α) Σωστό σχήμα σχοινού (σωστή συμβολή)	21%
β) Απεικόνιση μόνο των παλμών χωρίς συμβολή	14%
γ) Συμβολή με λάθος τρόπο	4%
δ) Παλμοί που δε συμβάλουν (λάθος υπολογισμοί, λάθος θέση παλμών)	16%
ε) Κενό	45%

Γράφημα 3.11.2

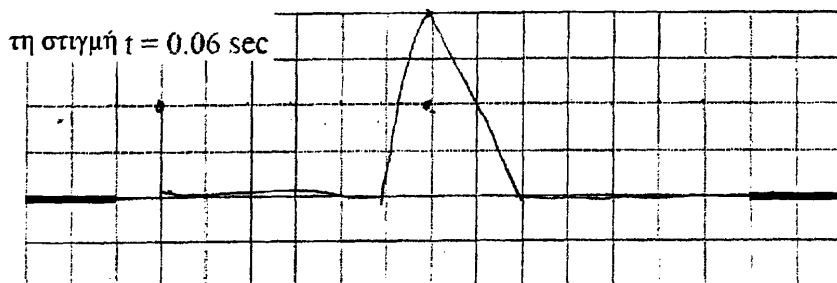


Παρατηρούμε ότι υπήρξε μία αύξηση στις σωστές απαντήσεις. Όλοι οι φοιτητές, εκτός από δύο, που απάντησαν σωστά στο πρώτο υποερώτημα απάντησαν σωστά και στο δεύτερο. Οι συγκεκριμένοι δύο άφησαν απλώς την ερώτηση κενή. Φαίνεται

λοιπόν, ότι ίσως είναι πιο εύκολο για τους φοιτητές να εφαρμόσουν την αρχή της επαλληλίας στην περίπτωση που οι κορυφές των παλμών συμπίπτουν κι όχι όταν οι παλμοί συμβάλουν χωρίς όμως οι κορυφές τους να συμπίπτουν. Παράδειγμα σωστής απάντησης υπάρχει παραπάνω.

Το ποσοστό στη β κατηγορία μειώθηκε. Όσοι ανήκουν σ' αυτή, εκτός από έναν, είχαν απαντήσει με τον ίδιο τρόπο και στο πρώτο υποερώτημα. Κάποιοι όμως δείχνουν να αλλάζουν τρόπο σκέψης τώρα που οι κορυφές των παλμών συμπίπτουν. Αυτοί εφαρμόζουν την αρχή της επαλληλίας μόνο στο β υποερώτημα και στο πρώτο θεωρούν ότι δε συμβάλλουν. Παράδειγμα τέτοιας απάντησης είναι το εξής: στο α υποερώτημα στο οποίο σχεδιάζει στη σωστή θέση τους δύο παλμούς χωρίς όμως να εφαρμόζει την αρχή της επαλληλίας «Μετρώντας τα κουτάκια βλέπω ότι δε φτάνουν στο ίδιο σημείο μετά από 0.05 sec άρα δε συμβάλλουν ενισχυτικά» και στο β υποερώτημα σχεδιάζει το παρακάτω (Σχήμα 3.11.11).

Σχήμα 3.11.11



Στην απάντησή του ο παραπάνω φοιτητής εξηγεί: «Με τους παραπάνω υπολογισμούς βλέπω ότι συμβάλλουν μετά από 0,06 sec ενισχυτικά». Όσοι απάντησαν με τον ίδιο τρόπο καθώς κι όσοι ανήκουν στην δ κατηγορία του πρώτου υποερωτήματος φαίνεται να αντιλαμβάνονται και να περιγράφουν ολόκληρο τον παλμό μόνο σε σχέση με την κορυφή του. Φαίνεται να μην κατανοούν πλήρως τη φύση του παλμού. Κάνουν απλοποιήσεις όπως το να αντιμετωπίζουμε ένα αντικείμενο σαν ένα υλικό σημείο ή να χρησιμοποιείται το κέντρο μάζας του σώματος κατά την περιγραφή της κίνησής του.^[7]

Στη γ κατηγορία τοποθετούνται δύο φοιτητές που έδειξαν μεν ότι υπάρχει συμβολή αλλά με λάθος τρόπο και στη δ τοποθετούνται όσοι με λάθος υπολογισμούς δεν έδειξαν τους παλμούς να συμπίπτουν. Τα ποσοστά αυτών των κατηγοριών σχεδόν δεν άλλαξαν και παραδείγματα απαντήσεων αναφέρθηκαν παραπάνω.



Τέλος στην ε κατηγορία τοποθετήθηκαν όσοι άφησαν την ερώτηση κενή. Το ποσοστό αυτής της κατηγορίας αυξήθηκε. Όσοι είχαν αφήσει το πρώτο υποερώτημα κενό δεν απάντησαν ούτε στο δεύτερο. Κάποιοι (2 φοιτητές) είχαν απαντήσει σωστά στο πρώτο, ίδιος αριθμός φοιτητών είχαν κάνει λάθος υπολογισμούς και οι παλμοί δε συμβάλλουν και πάλι ίδιος αριθμός φοιτητών έδειξε τους παλμούς χωρίς να δείχνουν ότι αυτοί συμβάλλουν. Ορισμένοι είχαν δείξει στο πρώτο υποερώτημα ότι οι κορυφές συμβάλλουν ενώ δε συμπίπτουν, αυτοί άφησαν το δεύτερο υποερώτημα κενό.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί ένας πίνακας 3.11.3 στον οποίο έχει γίνει ταξινόμηση σύμφωνα με τις απαντήσεις και στα δύο υποερωτήματα της έκτης ερώτησης. Ο πίνακας περιέχει έξι κατηγορίες. Στην α τοποθετήθηκαν όσοι φάνηκε να γνωρίζουν την ιδιότητα των κυμάτων να συμβάλλουν και εφάρμοσαν με σωστό τρόπο την αρχή της επαλληλίας. Στη β όσοι φαίνεται να περιγράφουν το κύμα μόνο από το σημείο της κορυφής του κατά τη συμβολή. Αυτοί είναι όσοι έδειξαν τις κορυφές των παλμών να συμβάλλουν ενώ δε συνέπιπταν (πρώτο υποερώτημα) ή έδειξαν ότι συμβολή υπάρχει μόνο στην περίπτωση που οι κορυφές συμπίπτουν (δεύτερο υποερώτημα) σχεδιάζοντας στο πρώτο υποερώτημα μόνο τους δύο παλμούς. Στη γ κατηγορία τοποθετήθηκαν όσοι φαίνεται να μη λαμβάνουν υπόψιν τους την ιδιότητα της συμβολής και στα δύο υποερωτήματα. Στη δ όσοι φαίνεται να ξέρουν ότι οι παλμοί συμβάλλουν αλλά με λάθος τρόπο που δε συμπίπτει με τη συμβολή που παρουσιάζεται στη β κατηγορία. Όσοι έκαναν λάθος υπολογισμούς (παλμοί δε συμπίπτουν) και στα δύο υποερωτήματα τοποθετήθηκαν στην ε κατηγορία και τέλος στην στ όσοι άφησαν και το πρώτο και το δεύτερο μέρος κενά.

Πίνακας 3.11.3

N=51

α) Σωστό σχήμα σχοινού (σωστή συμβολή)	18%
β) Κύμα περιγράφεται μόνο από το σημείο της κορυφής στη συμβολή	23%
γ) Απεικόνιση μόνο των παλμών χωρίς συμβολή	12%
δ) Συμβολή με λάθος τρόπο	6%
ε) Παλμοί που δε συμβάλουν (λάθος υπολογισμοί, λάθος θέση παλμών)	16%
στ) Κενό	25%

Παρατηρούμε λοιπόν ότι πέρα από τους φοιτητές για τους οποίους δεν μπορεί να εξαχθεί κάποιο συμπέρασμα (κατηγορίες ε και στ) το μεγαλύτερο ποσοστό δείχνει να μη γνωρίζει πώς να εφαρμόσει σωστά την αρχή της επαλληλίας και δίνει έμφαση στο σημείο της κορυφής του παλμού κατά τη διάρκεια της συμβολής. Όταν οι κορυφές δε συμπίπτουν επιλέγεται το ψηλότερο σημείο του παλμού. Δε σκέφτονται το κύμα σα μία περιοχή διαταραχής^[7].

3.12 Έβδομη ερώτηση

Η έβδομη και τελευταία ερώτηση του ερωτηματολογίου έχει δύο υποερωτήματα. Με το πρώτο υποερώτημα διερευνούνται οι αντιλήψεις των φοιτητών για τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η ταχύτητα διάδοσης ενός ηχητικού κύματος.

Όπως και στην πέμπτη ερώτηση έχουμε τη δημιουργία ηχητικών κυμάτων. Στην πέμπτη ερώτηση τα κύματα δημιουργούνταν καθώς δύο άνθρωποι φώναζαν ενώ εδώ τα ηχητικά κύματα δημιουργούνται καθώς ένας άνθρωπος, η Ελένη, χτυπά τα χέρια της. Οι παράγοντες που αναφέρονται στην πέμπτη ερώτηση ήταν η συχνότητα και η ένταση ενώ εδώ η Ελένη χτυπά τα χέρια της πιο δυνατά. Ζητείται από τους φοιτητές να εξηγήσουν αν θα αλλάξει ο χρόνος που χρειάζεται για να ακούσει η Ελένη την ηχώ όταν θα χτυπήσει τα χέρια της πιο δυνατά. Αν δηλαδή θα μεταβληθεί η ταχύτητα διάδοσης του κύματος. Με το δεύτερο υποερώτημα ζητείται από τους φοιτητές να περιγράψουν την κίνηση ενός σωματιδίου σκόνης που αιωρείται πολύ κοντά στον τοίχο, όταν το ηχητικό κύμα φτάνει στον τοίχο και ανακλάται. Η ερώτηση όπως αυτή δόθηκε στους φοιτητές είναι η εξής:

«Η Ελένη στέκεται σε απόσταση 30m από έναν μεγάλο τοίχο και χτυπά τα χέρια της μεταξύ τους μία φορά. Λίγο μετά ακούει την ηχώ.»

Πως θα άλλαζε, αν αλλάξει, ο χρόνος που χρειάζεται για να ακούσει την ηχώ αν χτυπούσε τα χέρια της πιο δυνατά; Εξηγήστε.

Θεωρήστε ένα σωματίδιο σκόνης το οποίο αιωρείται στον αέρα πολύ κοντά στον τοίχο (όχι πιο μακριά από 0,1mm). Περιγράψτε την κίνησή του, αν κινείται, από τη στιγμή που η Ελένη χτυπά τα χέρια της μέχρι τη στιγμή που ακούει την ηχώ. Εξηγήστε πως καταλήξατε στην απάντησή σας. »

Η κατηγοριοποίηση των απαντήσεων στο πρώτο υποερώτημα, όπως αναφέρθηκε και στην αρχή του κεφαλαίου, έχει ως εξής: υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες. Στην κατηγορία α έχουν τοποθετηθεί όλοι όσοι απαντάνε σωστά στην ερώτηση ότι ο χρόνος δεν αλλάζει. Στη β κατηγορία εκείνοι που πιστεύουν ότι ο χρόνος θα αλλάξει επειδή η Ελένη χτυπά τα χέρια της πιο δυνατά. Στην κατηγορία γ κατατάσσονται όσων οι απαντήσεις δεν είναι σαφείς όσον αφορά στο χρόνο που θα ακουστεί η ηχώ. Οι συγκεκριμένοι δεν αναφέρουν αν και πως ο χρόνος θα αλλάξει. Τέλος στην

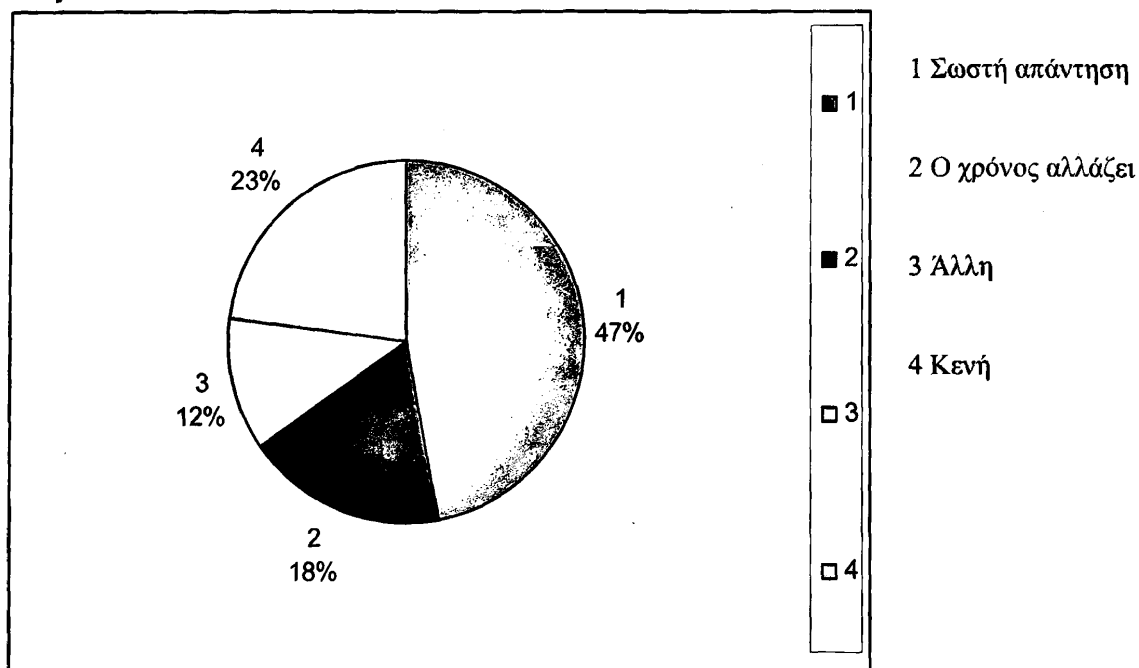
κατηγορία δ τοποθετούνται όσοι άφησαν την ερώτηση κενή. Ο πίνακας 3.12.1 με τα ποσοστά και το αντίστοιχο γράφημα 3.12.1 παρατίθεται παρακάτω.

Πίνακας 3.12.1

N=51

α) Ο χρόνος δεν αλλάζει (σωστή απάντηση)	47%
β) Ο χρόνος αλλάζει	18%
γ) Άλλη	12%
δ) Κενό	23%

Γράφημα 3.12.1



Παρατηρούμε ότι στο πρώτο υποερώτημα της έβδομης ερώτησης το ποσοστό των φοιτητών που απάντησαν σωστά είναι αρκετά αυξημένο σε σχέση με τις ερωτήσεις 1 και 3 που αφορούσαν την ταχύτητα διάδοσης του παλμού στο σχοινί. Όσοι απάντησαν σωστά στην ερώτηση 7 ανήκουν στο 47% του συνολικού δείγματος.

Περίπου το ίδιο με το ποσοστό των σωστών απαντήσεων στην ερώτηση 5, που ήταν άλλη μία ερώτηση που αφορούσε την ταχύτητα διάδοσης ηχητικών κυμάτων στον αέρα. Συγκρίνοντας τις σωστές απαντήσεις στις ερωτήσεις πέντε και επτά από τους φοιτητές που απάντησαν σωστά στην τελευταία (47% του δείγματος) περίπου το 18% του δείγματος απάντησε λάθος στην πέμπτη ερώτηση. Πιο αναλυτικά το πώς απάντησαν οι φοιτητές και στις δύο ερωτήσεις φαίνεται στον συγκεντρωτικό πίνακα 3.12.2 που παρατίθεται παρακάτω.

Ένα παράδειγμα σωστής απάντησης στο πρώτο υποερώτημα της έβδομης ερώτησης είναι το εξής: «*Αν χτυπήσει πιο δυνατά θα αλλάξει το πλάτος του κύματος. Ο χρόνος του κύματος θα παραμείνει σταθερός αφού το κύμα διαδίδεται και στις δύο περιπτώσεις στο ίδιο μέσο και κατά συνέπεια η ταχύτητα του παραμένει σταθερή.*» Ο συγκεκριμένος φοιτητής απαντά σωστά και στην αιτιολόγηση του αναφέρει ότι η ταχύτητα διάδοσης εξαρτάται από το μέσο. Δεν εξήγησαν όμως όλοι τις απαντήσεις τους. Αρκετοί απλώς είπαν ότι ο χρόνος δε θα αλλάξει ή ότι η ταχύτητα δε θα αλλάξει χωρίς αιτιολόγηση. Άλλοι ανέφεραν ότι η ταχύτητα στον αέρα είναι σταθερή και όπως ο παρακάτω ανέφεραν και την τιμή της: «*Αλλάζει το πλάτος ο ήχος διαδίδεται με περίπου 330 m/s στον αέρα και η ταχύτητα αυτή είναι σταθερή. Δε θα άλλαζε ο χρόνος που ακούει την ηχώ.*»

Στη β κατηγορία το ποσοστό είναι 18%. Αυτοί πιστεύουν ότι η αλλαγή αυτή στην κίνηση των χεριών κατά τη δημιουργία του κύματος αλλάζει την ταχύτητα διάδοσης του με αποτέλεσμα να αλλάξει και ο χρόνος στον οποίο η Ελένη ακούει την ηχώ. Όλοι εκτός από έναν πιστεύουν ότι η Ελένη θα ακούσει πιο γρήγορα την ηχώ. Μία απάντηση ήταν η εξής: «*Θα αλλάξει γιατί μεταβάλλοντας το χτύπημα μεγαλώνει το πλάτος του ήχου οπότε αυξάνει η ταχύτητα... και μεταβάλλεται και μεταβάλλεται ο χρόνος που χρειάζεται για να ακούσει την ηχώ.* »

Στις απαντήσεις της κατηγορίας γ δεν αναφέρεται αν θα αλλάξει ο χρόνος ή όχι. Άλλοι αναφέρουν απλώς ότι ο ήχος θα είναι πιο δυνατός, άλλοι ότι θα είναι πιο οξύς. Άλλοι φαίνεται να έχουν παρερμηνεύσει την ερώτηση κι απαντούν στο πως μπορεί να αλλάξει ο χρόνος για να ακούσει την ηχώ, κι όχι στο αν αλλάζει με ένα πιο δυνατό χτύπημα των χεριών της. Παράδειγμα είναι ο φοιτητής που απαντά ως εξής: «*Αν χτυπούσε τα χέρια της από μεγαλύτερη ή μικρότερη απόσταση.*» Τέλος 23% των φοιτητών αφήνουν την ερώτηση κενή και ανήκουν στη δ κατηγορία

Παρακάτω παρουσιάζεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας 3.12.2 των ερωτήσεων πέντε και επτά (πρώτο υποερώτημα) όπως αυτός για τις ερωτήσεις 1-3 και 2-4. Οι αριθμοί στα κελιά αναφέρονται σε αριθμό φοιτητών κι όχι σε ποσοστά.

Συγκεντρωτικός πίνακας 3.12.2

N=51		ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΒΔΟΜΗ ΕΡΩΤΗΣΗ			
		α) Δεν αλλάζει ο χρόνος από το πιο δυνατό χτύπημα των χεριών(σωστή)	β) Αλλάζει ο χρόνος	γ) Άλλη	δ) Κενή
ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΜΠΤΗ ΕΡΩΤΗΣΗ	α) Ταυτόχρονα ακούγονται οι δύο φωνές (σωστή)	15	4	2	5
	β) Δεν ακούγονται ταυτόχρονα	8	5	4	6
	γ) Κενή	1			2

Παρατηρούμε ότι οι περισσότεροι, 15 φοιτητές, που αντιστοιχούν περίπου σε ποσοστό 29% απάντησαν με συνέπεια και σωστά και στις δύο ερωτήσεις. Συνολικά από τους 24 φοιτητές που απάντησαν σωστά στην 7 οι 15 είχαν απαντήσει σωστά και στην 5.

Στο δεύτερο υποερώτημα τα ποσοστά είναι αρκετά διαφορετικά. Σωστή θεωρήθηκε η απάντηση στην οποία αναφέρεται ότι το σωματίδιο θα παραμείνει ακίνητο. Όσοι απάντησαν κατ' αυτόν τον τρόπο τοποθετήθηκαν στην α κατηγορία.

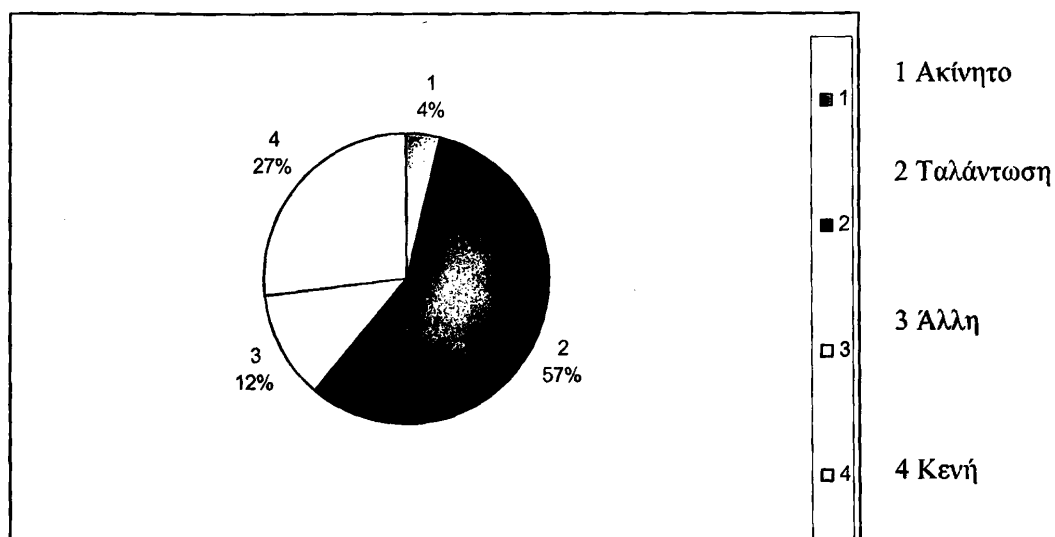
Όσοι θεώρησαν ότι το σωματίδιο θα εκτελέσει ταλάντωση πάνω-κάτω ή δεξιά-αριστερά κατατάχθηκαν στη β κατηγορία. Όσοι περιέγραψαν άλλη κίνηση αποτελούν τη γ κατηγορία και τέλος όσοι άφησαν την ερώτηση κενή τοποθετούνται στη δ κατηγορία. Ο λόγος που υπάρχουν οι κατηγορίες β και γ είναι η συχνότητα με την οποία εμφανίστηκε η κίνηση που περιγράφεται στην κατηγορία β.

Ο πίνακας 3.12.3 με τα ποσοστά και το αντίστοιχο γράφημα 3.12.2 παρατίθενται παρακάτω.

Πίνακας 3.12.3

Τα σωματίδιο σκόνης	N=51
α) Θα παραμείνει ακίνητο	4%
β) Θα κινηθεί πάνω-κάτω ή δεξιά-αριστερά	57%
γ) Άλλη	12%
δ) Κενό	27%

Γράφημα 3.12.2



Είναι μόνο δύο οι φοιτητές που απάντησαν σωστά στο δεύτερο υποερώτημα της εβδομης ερώτησης. Η απάντηση του ενός ήταν η εξής: «Θα παρέμενε σταθερό γιατί έχουμε συμβολή

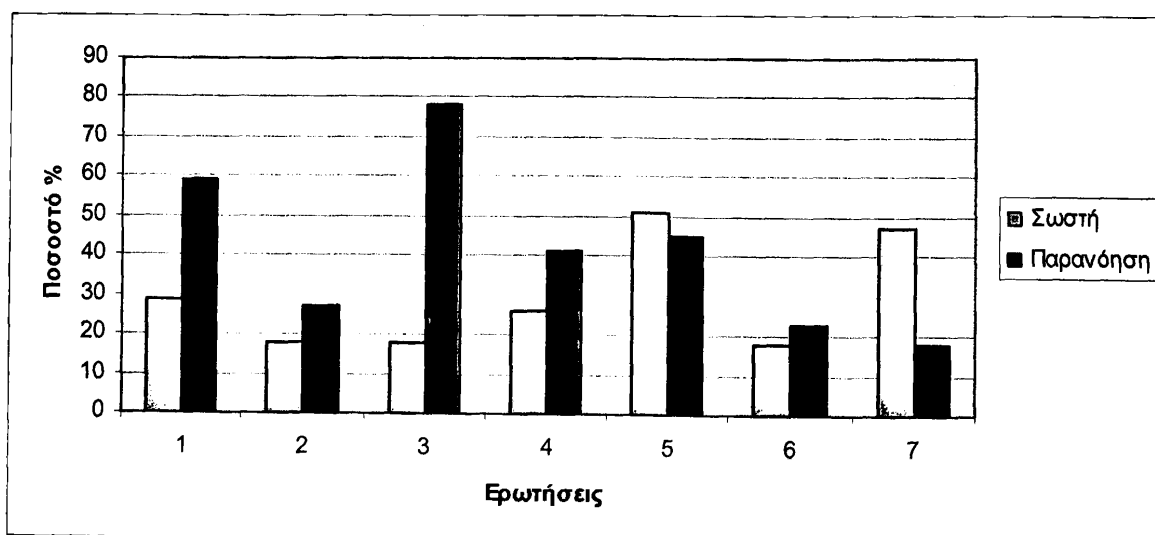
κυμάτων. Από τη στιγμή που χτυπά τα χέρια της είναι ακίνητο όταν φθάνει το κύμα πάει να κινηθεί προς τα δεξιά αλλά δέχεται το ανακλώμενο και παραμένει σταθερό.» Ίσως το ότι δεν υπήρχε παρόμοια ερώτηση στο ερωτηματολόγιο ή το ότι δεν πρόσεξαν πόσο κοντά στον τοίχο ήταν το σωματίδιο σκόνης οδήγησε την πλειοψηφία να απαντήσει ότι το σωματίδιο θα εκτελέσει ταλάντωση δεξιά-αριστερά (β κατηγορία).

Όλοι, εκτός από τρεις, της β κατηγορίας θεώρησαν ότι το σωματίδιο θα ταλαντωθεί δεξιά αριστερά. Οι τρεις απάντησαν ότι το σωματίδιο θα ταλαντωθεί πάνω-κάτω. Παράδειγμα απάντησης στη συγκεκριμένη κατηγορία είναι το εξής: «Τη στιγμή που η Ελένη χτυπά τα χέρια της ένα κύμα διαδίδεται στο χώρο. Το σωματίδιο σκόνης αρχίζει να ταλαντώνεται χτυπά τον τοίχο και επιστρέφει στην αρχική του θέση.» ή «Θα κινηθεί δεξιά-αριστερά ως προς τον τοίχο διότι το ηχητικό κύμα είναι διάμηκες.»

Παραδείγματα της κατηγορίας γ αναφέρθηκαν και στην αρχή του κεφαλαίου. Κάποιος στην απάντησή του αναφέρει το εξής: «Κυματική κίνηση σταθερής συχνότητας». Τέλος το 27% του δείγματος άφησε το υποερώτημα κενό. Σχεδόν όλοι όσοι δεν απάντησαν στο πρώτο υποερώτημα άφησαν και το δεύτερο κενό.

Στο παρακάτω γράφημα φαίνεται για κάθε ερώτηση των ποσοστό των σωστών απαντήσεων και των γνωστών από τη βιβλιογραφία παρανοήσεων για το σύνολο του δείγματος.

Γράφημα 3.12.3



Κεφάλαιο 4: Συμπεράσματα και προτάσεις

4.1 Εισαγωγή

Η κατανόηση της κυματικής φυσικής είναι σημαντική για την κατανόηση της οπτικής φυσικής, της κβαντομηχανικής και τον ηλεκτρομαγνητισμό. Οι προηγούμενες έρευνες δείχνουν ότι οι μαθητές και οι φοιτητές έχουν δυσκολίες σε βασικές έννοιες της κυματικής φυσικής.

Στόχος της έρευνας που παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία ήταν να διερευνηθούν οι αντιλήψεις των φοιτητών στα μηχανικά κύματα. Φαίνεται ότι ορισμένοι φοιτητές δε χρησιμοποιούν τον αποδεκτό τρόπο σκέψης. Τείνουν να εφαρμόζουν προγενέστερες γνώσεις από την κίνηση υλικού σημείου στην Κυματική.

Εργαλείο της έρευνας αποτέλεσε το Διαγνωστικό Τεστ στην Κυματική του Πανεπιστημίου του Μέριλαντ που συντάχθηκε από τους Michael C. Wittmann, Richard N. Steinberg, Edward F. Redish και χρησιμοποιήθηκε σε έρευνές τους. Το ερωτηματολόγιο αυτό αποτελείται από ερωτήσεις ανοιχτού τύπου κι από ερωτήσεις πολλαπλών επιλογών. Αποτελείται από δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος υπάρχουν δύο ερωτήσεις ανοιχτού τύπου. Το πρώτο μέρος μοιράστηκε στους φοιτητές και αφού παράδόθηκαν τα γραπτά, μοιράστηκε το δεύτερο μέρος του ερωτηματολογίου το οποίο υπάρχουν ερωτήσεις και των δύο μορφών. Το δείγμα είναι 51 δευτεροετείς φοιτητές οι οποίοι είχαν ολοκληρώσει τα μαθήματα για τα μηχανικά κύματα.

4.2 Παρανοήσεις

Από τις απαντήσεις των φοιτητών φαίνεται ότι οι εκφωνήσεις και ο τύπος της ερώτησης επηρέαζαν τις απαντήσεις τους. Αντικείμενο των ερωτήσεων είναι η διάδοση ενός παλμού μέσω ενός σχοινιού, η διάδοση ηχητικών κυμάτων στον αέρα, η συμβολή παλμών που διαδίδονται σε ένα σχοινί και η κίνηση του μέσου κατά την ανάκλαση του ηχητικού κύματος. Τα κύματα θεωρείται ότι διαδίδονται σε ιδανικά μέσα χωρίς διασπορά.

Πιο συγκεκριμένα στην πρώτη και στην τρίτη ερώτηση του ερωτηματολογίου οι φοιτητές κλήθηκαν να απαντήσουν πως μπορεί να αλλάξει η ταχύτητα ενός παλμού που διαδίδεται μέσω ενός σχοινιού. Στην ερώτηση ανοιχτού τύπου το 59% και στην ερώτηση πολλαπλών επιλογών το 78% των φοιτητών αναφέρουν στις απαντήσεις τους ότι μια κίνηση του χεριού κατά τη δημιουργία του παλμού μπορεί να επιφέρει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Η πιο κοινή απάντηση μεταξύ αυτών ήταν ότι μια πιο

γρήγορη κίνηση του χεριού κατά τη δημιουργία του παλμού θα αναγκάσει τον παλμό να κινηθεί γρηγορότερα δια μέσω του σχοινιού. Φαίνεται λοιπόν ότι οι φοιτητές δεν μπορούν να διαχωρίσουν τη διάδοση του παλμού από τις αρχικές συνθήκες που περιγράφουν τη δημιουργία του.

Στις ερωτήσεις 2 και 4 ζητήθηκε από τους φοιτητές να περιγράψουν την κίνηση ενός σωματιδίου σκόνης που αιωρούνταν μπροστά από ένα κλειστό ηχείο τη στιγμή που το ηχείο άνοιγε. Στην ερώτηση ανοιχτού τύπου το 27% των φοιτητών δήλωσε ότι το σωματίδιο θα απομακρυνθεί μακριά από το ηχείο και στην ερώτηση πολλαπλών επιλογών το 41% ότι το σωματίδιο θα ωθηθεί μακριά από το ηχείο. Φαίνεται λοιπόν ότι οι συγκεκριμένοι δεν μπορούν να διακρίνουν την κίνηση του ήχου κατά τη διάδοσή του σε ένα μέσο και την κίνηση του ίδιου του μέσου. Θεωρούν ότι το ηχητικό κύμα μπορεί να ασκήσει δύναμη κατά τη διάδοσή του.

Στις ερωτήσεις 5 και 7α που αφορούν τους παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα διάδοσης του ήχου στον αέρα, τα ποσοστά των σωστών απαντήσεων αυξάνονται αισθητά. Αντίστοιχα 51% και 47% των φοιτητών απαντούν σωστά ότι η ταχύτητα του ήχου δεν εξαρτάται από τη συχνότητα ή την ένταση. Όμως το 45% στην ερώτηση 5 πιστεύει ότι κυρίως η διαφορετική συχνότητα στις φωνές του Μιχάλη και της Άννας επηρεάζουν την ταχύτητα διάδοσης και οι περισσότερη δικαιολογούν γράφοντας την εξίσωση $v=\lambda \cdot f$.

Η ερώτηση 6 του ερωτηματολογίου αφορά τη συμβολή παλμών οι οποίοι διαδίδονται πάνω σε ένα σχοινί. Ορισμένοι φοιτητές φαίνεται να μην αντιμετωπίζουν το κύμα συνολικά σε μία διαταραχή η οποία διαδίδεται, αλλά σε κάποιες περιπτώσεις το περιγράφουν δίνοντας έμφαση σε σημεία του, όπως η κορυφή του. Από τις απαντήσεις των φοιτητών και στα δύο υποερωτήματα της συγκεκριμένης ερώτησης διαπιστώθηκε ότι το 23% των φοιτητών περιγράφουν το κύμα όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Όταν οι δύο παλμοί που ταξίδευαν ο ένας προς τον άλλο συμβάλλουν αλλά οι κορυφές τους δε συμπίπτουν, κάποιοι φοιτητές δεν εφαρμόζαν σε όλες τις περιοχές σωστά την αρχή της επαλληλίας. Άλλοι έδειχναν ότι οι παλμοί συμβάλλουν μόνο όταν οι κορυφές τους συνέπιπταν.

Από τα παραπάνω υπάρχει η ένδειξη ότι οι φοιτητές κάνουν αναλογίες με τη τους νόμους που διέπουν την κίνηση ενός υλικού σημείου για να ερμηνεύσουν τα φαινόμενα της Κυματικής Φυσικής. Ορισμένοι φαίνεται να θεωρούν ότι το κύμα ασκεί δύναμη στο μέσο κατά τη διάδοσή του, ότι οι αρχικές συνθήκες δημιουργίας

του κύματος επηρεάζουν την ταχύτητα διάδοσής του και στη συμβολή περιγράφουν το κύμα με ένα σημείο.

4.3 Εποικοδομισμός

Οι αντιλήψεις φοιτητών και μαθητών που αποκαλύπτονται γενικά από εκπαιδευτικές έρευνες έχουν μεγάλη σημασία για τους εκπαιδευτικούς και άλλους που ενδιαφέρονται για τη διδακτική των Φυσικών Επιστημών. Το να παίρνει κανείς υπόψη τις πρότερες ιδέες των μαθητών είναι μία από τις στρατηγικές, αν και όχι βέβαια η μοναδική, που δίνει τη δυνατότητα να είναι καλύτερα προσαρμοσμένη η διδασκαλία στους μαθητές ^[11].

Σύμφωνα επίσης με τους Rosalind Driver, Edith Guesne & Andree Tiberghien, τα μυαλά των μαθητών δεν είναι «λευκά χαρτιά», που μπορούν να δέχονται τη διδασκαλία κατά τρόπο ουδέτερο. Αντίθετα, οι μαθητές προσεγγίζουν τις εμπειρίες που παρουσιάζονται στα μαθήματα των Φυσικών Επιστημών με προηγουμένως αποκτηθείσες ιδέες και αυτές επηρεάζουν ότι μαθαίνεται από νέες εμπειρίες κατά διάφορους τρόπους ^[11].

Η γνώση είναι το αποτέλεσμα μιας εποικοδομητικής ενέργειας και δε μεταφέρεται σε παθητικούς δέκτες από τα βιβλία και τους εκπαιδευτικούς. Συνοπτικά θα μπορούσε κανείς να επισημάνει ότι:

- Οι αρχικές ιδέες επιδρούν στην οικοδόμηση της νέας γνώσης.
- Τα άτομα οικοδομούν τη γνώση μέσω ενεργητικών διαδικασιών.
- Η εποικοδόμηση γνώσεων είναι συνεχής ενεργητική διαδικασία.
- Η μάθηση συνεπάγεται αλλαγή των αρχικών ιδεών και αποδοχή των νέων.
- Οι μαθητές/ριες έχουν κοινές ιδέες, ανεξάρτητα από το κοινωνικό και πολιτιστικό περιβάλλον. ^[10]

Στη φιλοσοφία και την ιστορία των ιδεών ο εποικοδομισμός εμφανίζεται συστηματικά με το έργο του ιταλού φιλοσόφου της ιστορίας Giambattista Vico, «Scienza Nuova», το 1725, όπου διατύπωσε μια πρώτη γενεσιουργό άποψη του εποικοδομισμού ότι «γνωρίζω κάτι» σημαίνει «δομώ κάτι» και θεωρείται ο θεμελιωτής του σύγχρονου εποικοδομισμού (Mahoney, 1992) ^[12]

Ο Imm. Kant στην «Κρητική του καθαρού λόγου» (1781) διατύπωσε την επόμενη σημαντική άποψη του εποικοδομισμού, σύμφωνα με την οποία ο ανθρώπινος νους είναι ένα ενεργητικό όργανο, το οποίο συλλαμβάνει, μορφοποιεί και μετασχηματίζει το πλήθος των αισθημάτων και των εμπειριών σε μια οργανωμένη ενότητα σκέψης. Ο

Jean Piaget θα αποδειχθεί ο επικρατέστερος μελετητής του εποικοδομισμού στον χώρο της εξελικτικής ψυχολογίας τον 20^ο αι. ^[12]

Η σημασία του εποικοδομισμού για τις παιδαγωγικές διαδικασίες σχετίζεται με τις διαφοροποιήσεις, τις οποίες επέφερε στην αντίληψή μας για τη γνώση, η οποία –κατά τον εποικοδομισμό- δεν προέρχεται από την απεικόνιση της εξωατομικής πραγματικότητας ή την ανάμνηση και ανασύνθεση προκατασκευασμένων γνώσεων κα αληθειών σύμφωνα με προσχεδιασμένα πρότυπα, αλλά από τη δημιουργική και συμμετοχική δράση του υποκειμένου. ^[12]

Οι ιδέες των μαθητών λοιπόν προϋπάρχουν της διδασκαλίας των αντίστοιχων θεμάτων, είναι νοητικές κατασκευές με τις οποίες τα παιδιά ερμηνεύουν τον κόσμο που τους περιβάλλει και ανθίστανται στην παραδοσιακή διδασκαλία ^[10]

Ένα χαρακτηριστικό διδακτικό πρότυπο διδασκαλίας με βάση την εποικοδομητική υπόθεση για τη διδασκαλία και τη μάθηση είναι αυτό που πρότειναν οι Cosgrove και Osborne (1985), σε συνδυασμό με αντίστοιχο των Driver και Oldham (1986) το οποίο συμπεριλαμβάνει πέντε φάσεις ^[10], οι οποίες αναφέρονται συνοπτικά παρακάτω:

- α) Φάση προσανατολισμού/ανάδειξης των ιδεών των μαθητών.
- β) Φάση δοκιμασίας των ιδεών των μαθητών.
- γ) Φάση εισαγωγής της επιστημονικής γνώσης
- δ) Φάση εφαρμογής της νέας γνώσης.
- ε) Φάση σύγκρισης των ιδεών των μαθητών με την επιστημονική γνώση/Μετάγνωση.

[12]

Αρχικά οι μαθητές συμμετέχουν σε διαδικασίες διερεύνησης και διαπίστωσης των αρχικών τους ιδεών. Συζητούν και μοιράζονται τις απόψεις τους, δοκιμάζουν την αξιοπιστία των απόψεών τους και στη συνέχεια τις συγκρίνουν με τις επιστημονικές. Βοηθητικά εργαλεία μπορεί να είναι εικόνες, ερωτηματολόγια και πειράματα. Ο ρόλος του εκπαιδευτικού είναι καθοδηγητικός και διαγνωστικός. Συντονίζει, εκτελεί πειράματα επίδειξης και αναπτύσσει την επιστημονική γνώση. Σταδιακά οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών αντικαθιστούνται με νέες, η νέα γνώση εφαρμόζεται, τελικό στάδιο η μετάγνωση.

4.4 Η συμβολή του υπολογιστή

Από την έρευνα και τη μελέτη μεγάλου δείγματος μαθητών και εισαγωγικών σειρών μαθημάτων, προκύπτει ότι οι μαθητές δεν κατορθώνουν να αφομοιώσουν απολύτως μία έννοια ή έναν τρόπο εκτέλεσης συλλογισμών, εκτός κι αν μπορέσουν να τα προσεγγίσουν με εξατομικευμένη συζήτηση σωκρατικού τύπου. Το αποφασιστικό βήμα δε γίνεται με την εργασία για το σπίτι, με τα τεστ ή με την παθητική ακρόαση των επεξηγήσεων, όσο διαυγή κι αν είναι αυτά. Το «ρήγμα» δημιουργείται βαθμιαία, όταν ο σπουδαστής αρχίζει να αρθρώνει με δικά του λόγια ιδέες, συμπεράσματα και συλλογισμούς^[13]. Η σύγχρονη τεχνολογία μπορεί να βοηθήσει προς αυτήν την κατεύθυνση, με τη χρήση των προσωπικών υπολογιστών και κατάλληλων προγραμμάτων.

Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές μπορούν να χρησιμοποιηθούν με διάφορους τρόπους στη διδασκαλία της Φυσικής. Οι φοιτητές μπορούν να τους χρησιμοποιούν για τη λήψη και την παρουσίαση πειραματικών δεδομένων, για την ανάλυση μαγνητοσκοπημένων φαινομένων κ.α. Πολλές έρευνες έχουν δείξει ότι οι σπουδαστές που συμμετέχουν ενεργά σε δραστηριότητες με τη χρήση υπολογιστών κατά τη διάρκεια των μαθημάτων, έχουν καλύτερη επίδοση συγκριτικά με το παραδοσιακό μάθημα^[16]. Παρά το γεγονός αυτό, η χρήση του υπολογιστή δεν εγγυάται την επιτυχία αλλά τα προτερήματα είναι αρκετά^[15].

Σε εισαγωγικό μάθημα Φυσικής στο Πανεπιστήμιο της Βόρειας Καρολίνας μελετώνται τα εξής θέματα: αρμονική κίνηση, κυματική κίνηση και ήχος. Στα πλαίσια του μαθήματος γίνεται χρήση ενός προγράμματος στον υπολογιστή το οποίο παρέχει τη δυνατότητα οπτικοποίησης φαινομένων και ενεργούς συμμετοχής των σπουδαστών στην εκπαιδευτική διαδικασία^[14]. Πιο συγκεκριμένα, μεταξύ άλλων, γίνεται προσομοίωση δύο κυμάτων και της συμβολής τους καθώς οι φοιτητές μπορούν να ελέγχουν την κίνηση του ενός και να διαπιστώνουν τις αλλαγές. Επίσης μελετάται και η ταχύτητα εγκάρσιων και διαμηκών μηχανικών κυμάτων (κύμα σε χορδή και ράβδο) ενώ οι φοιτητές μπορούν να μεταβάλλουν ιδιότητες των μέσων όπως η πυκνότητα και να παρατηρούν τις αλλαγές κ.α.

Η γνώση των ιδεών των μαθητών είναι σημαντική στο σχεδιασμό ειδικά διαμορφωμένων μαθημάτων. Όταν γνωρίζει ο εκπαιδευτικός τους τύπους των ιδεών που επικρατούν, μπορεί να προτείνει δραστηριότητες οι οποίες μπορούν να αμφισβητήσουν ή να επεκτείνουν το εύρος εφαρμογών αυτών των ιδεών.

Στο Πανεπιστήμιο του Μέριλαντ ειδικά σχεδιασμένα μαθήματα με σκοπό την εννοιολογική αλλαγή και αντικείμενο τα μηχανικά κύματα έλαβαν χώρα. Στα μαθήματα αυτά οι φοιτητές εργάζονται σε ομάδες τριών ή τεσσάρων ατόμων με ειδικά διαμορφωμένα φύλλα εργασίας. Η ύλη των μαθημάτων περιλάμβανε τη διάδοση κυμάτων, τη συμβολή, τη μαθηματική περιγραφή του κύματος και τα ηχητικά κύματα. Στη διάρκεια των μαθημάτων προβάλλονταν βίντεο επεξεργασμένα με ηλεκτρονικό υπολογιστή ώστε να μπορούν οι φοιτητές να μελετήσουν τα φαινόμενα που αναφέρθηκαν παραπάνω σε μικρότερη ταχύτητα από την πραγματική. Ταυτόχρονα οι φοιτητές απαντούν σε ερωτήσεις που καλύπτουν τις παραπάνω ενότητες. Προβάλλονται διαφορετικοί παλμοί που διαδίδονται σε σχοινιά, παλμοί που συμβάλλουν, φλόγα κεριού να ταλαντώνεται λόγω της διάδοσης ενός ηχητικού κύματος κ.α .^[7]

Για να ελέγξουν την αποτελεσματικότητα των ειδικών αυτών μαθημάτων οι ερευνητές σύγκριναν τις απαντήσεις φοιτητών πριν και μετά από τις παραδόσεις και πριν και μετά από τα ειδικά αυτά μαθήματα και διαπίστωσαν ότι υπάρχει μεγαλύτερη βελτίωση μετά τα ειδικά μαθήματα.^[7]

Η απόδοση των φοιτητών πριν και μετά τις παραδοσιακές παραδόσεις στην έρευνα στο Πανεπιστήμιο του Μέριλαντ μαρτυρά ότι πολλοί φοιτητές χρησιμοποιούν λάθος τρόπους για να περιγράψουν φαινόμενα της κυματικής φυσικής. Τα ειδικά σχεδιασμένα μαθήματα δίνουν στους φοιτητές τη δυνατότητα να αναπτύξουν πιο επιστημονικά ορθές απόψεις και να ξεπεράσουν τις πιο κοινές παρανοήσεις

Η παρούσα έρευνα ήταν πιλοτική. Το δείγμα ήταν 51 φοιτητές του τμήματος Φυσικής της Σχολής Θετικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων και ο στόχος ήταν η ανάδειξη των ιδεών των φοιτητών στα μηχανικά κύματα. Ελπίδα είναι να προαχθεί η εννοιολογική αλλαγή στις τάξεις, η μάθηση να γίνει πιο ενδιαφέρουσα και σημαντική κι οι ιδέες και τα λάθη των μαθητών – φοιτητών να υπολογίζονται στην εκπαιδευτική διαδικασία.

Βιβλιογραφία

- ^[1]L. Maurines, “Spontaneous reasoning on the propagation of visible mechanical signals” *Int. J. Sci. Educ.*, 1992, Vol. 14, No. 3, 279-293
- ^[2]Cedric J. Linder, Gaalen L. Erickson, “A study of tertiary physics students’ conceptualizations of sound”, *Int. J. Sci. Educ.*, 1989, Vol. 11, special issue, 491-501
- ^[3]Cedric J. Linder, “Understanding sound: so what is the problem?”, *Phys. Educ.*, 1992, Vol. 27, 258-264
- ^[4]Cedric J. Linder, “University physics students’ conceptualizations of factors affecting the speed of sound propagation”, *J. Sci. Educ.*, 1993, Vol. 15, No. 6, 655-662
- ^[5]Michael C. Wittmann, Richard N. Steinberg, Edward F. Redish, “Making Sense of How Students Make Sense of Mechanical Waves”, *The Physics Teacher*, 1999
- ^[6]Michael C. Wittmann, Richard N. Steinberg, Edward F. Redish, “Understanding And Affecting Student Reasoning About Sound Waves”, *International Journal of Science Education*, Vol. 25, No. 8. (2003), pp 991-1013
- ^[7]Michael C. Wittmann, “Making Sense of How Students Come to an Understanding of Physics: An Example from Mechanical Waves”, *Dissertation*, 1998
- ^[8]McDermott, L.C., Redish, E.F., 1999, Resource Letter PER-1: Physics Education Research. *American Journal of Physics*, 67, 755-767
- ^[9]Rosalind Driver, Ann Squires, Peter Rushworth, Valerie Wood-Robinson, “Οικο-Δομώντας τις έννοιες των Φυσικών Επιστημών. Μια Παγκόσμια Σύνοψη των Ιδεών των Μαθητών”, *Μετάφραση Μαρία Χατζή, τυποθήτω, Αθήνα 2000*
- ^[10]Δήμητρα Σπυροπούλου - Κατσάνη “ Διδακτικές και Παιδαγωγικές Προσεγγίσεις στις Φυσικές Επιστήμες”, *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών, Τυποθήτω Γιώργος Δαρδανός, Αθήνα 2000*
- ^[11] Rosalind Driver, Edith Guesne & Andree Tiberghien *Μετάφραση Θεόδωρος Κρητικός, Βασιλική Σπηλιωτοπούλου-Παπαντωνίου, Αλέξιος Σταυρόπουλος, “Οι ιδέες των παιδιών στις Φυσικές Επιστήμες” Ένωση Ελλήνων Φυσικών Τροχαλία Αθήνα 1993*
- ^[12] Σπύρος Κρίβας, “ Παιδαγωγική Επιστήμη: Βασική Θεματική”, *Παιδαγωγική σειρά GUTENBERG Αθήνα 2004*



- ^[13] Arnold B. Arons Πανεπιστήμιο της Ουάσινγκτον “Οδηγός διδασκαλίας της Φυσικής” μετάφραση-επιστημονική επιμέλεια Ανδρέας Δ. Βαλαδάκης Τροχαλία 1992
- ^[14] Lisa Grable-Wallace, Joyce Mahoney and Prabha Ramakrishnan Department of physics, North Carolina State University, “Suggested courseware for the Non-calculus Physics student: Simple Harmonic Motion, Wave Motion and Sound”, The physics teacher, February 1989, 102-105.
- ^[15] Richard N. Steinberg “Computers in teaching science: To stimulate or not to stimulate?” Phys. Educ. Res., Am. J. Phys. Suppl. Vol.68, No 7, July 2000
- ^[16] Ronald K. Thornton, David R Sokoloff, “Learning motion concepts using real-time microcomputer-based laboratory tools”, Am. J. Phys. Vol. 58, No 9, 858-867 September 1990
- ^[17] Hugh D. Young, “Πανεπιστημιακή Φυσική” Τόμος Α΄, ΠΑΠΑΖΗΣΗ, 1992
- ^[18] Murray R. Spiegel, “Θεωρητική Μηχανική”, McGRAW-HILL, NEW YORK, 1985
- ^[19] Σ. Φούλιας, “Εισαγωγή στα ελαστικά κύματα”, πανεπιστημιακές παραδόσεις, 2001
- ^[20] Raymond A. Serway, “Physics for Scientists & Engineers”, Τόμος Ι και ΙΙ, απόδοση Λεωνίδας Κ. Ρεσβάνης, 1990

Παράρτημα

Διαγνωστικό Τεστ Κυματικής

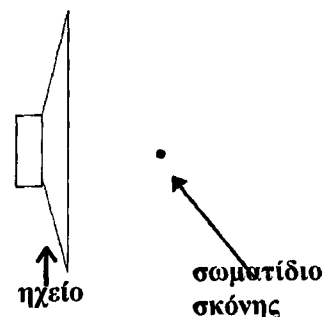
1. Ένας άνθρωπος κρατά τεντωμένο ένα μακρύ σχοινί και κουνώντας γρήγορα το χέρι του πάνω-κάτω, δημιουργεί έναν παλμό, ο οποίος ταξιδεύει προς τον τοίχο στον οποίο είναι στερεωμένο το σχοινί. Ο παλμός φτάνει στον τοίχο σε χρόνο t_0 (βλέπε σχήμα).



Πώς θα μπορούσε ο άνθρωπος να μειώσει τον χρόνο που χρειάζεται ο παλμός για να φτάσει στον τοίχο; Εξηγήστε.

2. Ένα σωματίδιο σκόνης είναι τοποθετημένο μπροστά σε ένα κλειστό ηχείο (βλέπε σχήμα). Το ηχείο τίθεται σε λειτουργία και μεταδίδει μία νότα σταθερής συχνότητας.

Περιγράψτε την κίνηση του σωματιδίου σκόνης. Εξηγήστε τον συλλογισμό σας.



3. Ένας άνθρωπος κρατά τεντωμένο ένα μακρύ σχοινί το οποίο είναι στερεωμένο σε ένα τοίχο (βλέπε σχήμα). Κουνώντας το χέρι του πάνω-κάτω μόνο μία φορά δημιουργεί ένα παλμό πολύ μικρού πλάτους, ο οποίος φτάνει στον τοίχο σε χρόνο t_0 .

Απαντήστε, για την ερώτηση που ακολουθεί, ποια από τις δραστηριότητες α-κ θα προκαλέσει από μόνης της το επιθυμητό αποτέλεσμα.

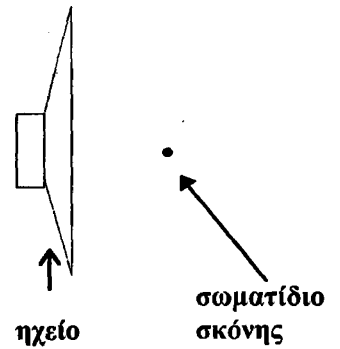
Πως, αν αυτό είναι δυνατόν, μπορεί ο άνθρωπος επαναλαμβάνοντας το αρχικό πείραμα να δημιουργήσει έναν παλμό που χρειάζεται περισσότερο χρόνο για να φτάσει στον τοίχο; Παραπάνω από μία απαντήσεις μπορεί να είναι σωστές. Αν ισχύει αυτό να τις σημειώσετε όλες.

Κυκλώστε το γράμμα ή τα γράμματα που αντιστοιχούν στη σωστή απάντηση. Εξηγήστε.

Πιθανές απαντήσεις στην ερώτηση:

- α) Να κουνήσει το χέρι του πιο γρήγορα (αλλά πάλι μόνο πάνω-κάτω κατά την ίδια απόσταση και μία φορά).
- β) Να κουνήσει το χέρι του πιο αργά (αλλά πάλι μόνο πάνω-κάτω κατά την ίδια απόσταση και μία φορά).
- γ) Να κουνήσει το χέρι του μεγαλύτερη απόσταση πάνω-κάτω αλλά στον ίδιο χρόνο.
- δ) Να κουνήσει το χέρι του μικρότερη απόσταση πάνω-κάτω αλλά στον ίδιο χρόνο.
- ε) Να χρησιμοποιήσει ένα βαρύτερο σχοινί ίδιου μήκους, υπό την ίδια τάση.
- στ) Να χρησιμοποιήσει ένα ελαφρύτερο σχοινί ίδιου μήκους, υπό την ίδια τάση.
- ζ) Να χρησιμοποιήσει ένα σχοινί ίδιας γραμμικής πυκνότητας αλλά να μειώσει την τάση.
- η) Να χρησιμοποιήσει ένα σχοινί ίδιας πυκνότητας αλλά να αυξήσει την τάση.
- θ) Να βάλει μεγαλύτερη δύναμη στο κύμα.
- ι) Να βάλει μικρότερη δύναμη στο κύμα.
- κ) Τίποτα από τα παραπάνω.

4. Ένα σωματίδιο σκόνης είναι τοποθετημένο μπροστά σε ένα κλειστό ηχείο (βλέπε σχήμα). Το ηχείο τίθεται σε λειτουργία και μεταδίδει μία νότα σταθερής (χαμηλής) συχνότητας. Ποια πρόταση ή ποιος συνδυασμός από τις παρακάτω προτάσεις α-στ μπορεί να περιγράψει την κίνηση του σωματιδίου σκόνης όταν το ηχείο τεθεί σε λειτουργία;



Κυκλώστε το γράμμα ή τα γράμματα που αντιστοιχούν στη σωστή απάντηση.
Εξηγήστε.

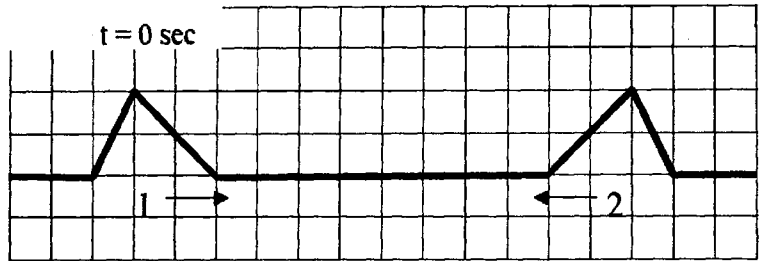
Πιθανές απαντήσεις στην ερώτηση:

- α) Το σωματίδιο σκόνης θα κινηθεί πάνω-κάτω.
- β) Το σωματίδιο σκόνης θα ωθηθεί μακριά από το ηχείο.
- γ) Το σωματίδιο σκόνης θα κινηθεί δεξιά-αριστερά
- δ) Το σωματίδιο σκόνης δε θα κινηθεί καθόλου
- ε) Το σωματίδιο σκόνης θα ακολουθήσει μία κυκλική διαδρομή.
- στ) Καμία από τις παραπάνω απαντήσεις δεν είναι σωστή

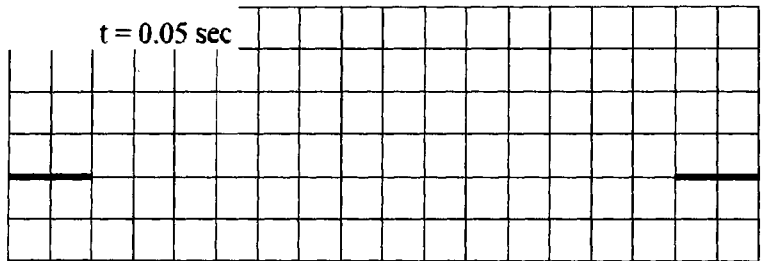
5. Ο Μιχάλης και η Άννα απέχουν απόσταση 100m και φωνάζουν ο ένας στον άλλο «Γεια!» ακριβώς την ίδια χρονική στιγμή. Ο Μιχάλης φωνάζει πιο δυνατά από την Άννα και ο τόνος (η συχνότητα) της φωνής του είναι πιο χαμηλός. Υποθέστε ότι δεν πνέει άνεμος.

Η Άννα θα ακούσει πρώτη τον Μιχάλη, ο Μιχάλης την Άννα, ή θα ακούσουν ταυτόχρονα ο ένας τον άλλο; Εξηγήστε πως καταλήξατε στην απάντησή σας.

6. Θεωρήστε δύο παλμούς σε ένα σχοινί όπως φαίνεται στο σχήμα. Κινούνται ο ένας προς τον άλλο με ταχύτητα 100cm/sec.

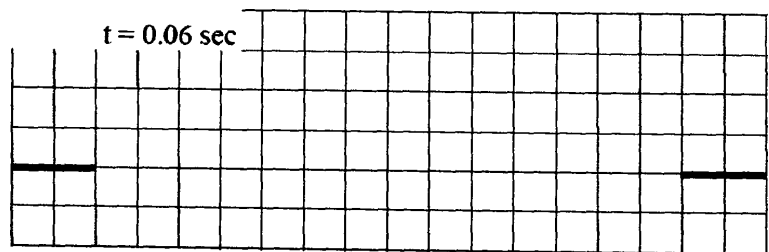


Κάθε τετράγωνο στο σχήμα αναπαριστά 1cm.



Σχεδιάστε στο σχήμα δεξιά τη μορφή του σχοινιού μετά από 0,05 sec. Εξηγήστε πως καταλήξατε στην απάντησή σας.

Σχεδιάστε στο σχήμα δεξιά τη μορφή του σχοινιού μετά από 0,06 sec. Εξηγήστε πως καταλήξατε στην απάντησή σας.



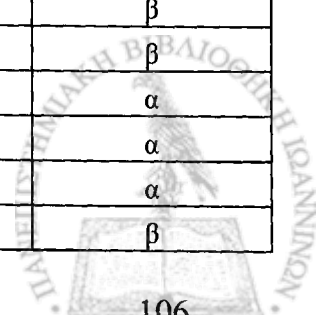
7. Η Ελένη στέκεται σε απόσταση 30m από έναν μεγάλο τοίχο και χτυπά τα χέρια της μεταξύ τους μία φορά. Λίγο μετά ακούει την ηχώ.

Πως θα άλλαζε, αν αλλάζει, ο χρόνος που χρειάζεται για να ακούσει την ηχώ αν χτυπούσε τα χέρια της πιο δυνατά; Εξηγήστε.

Θεωρήστε ένα σωματίδιο σκόνης το οποίο αιωρείται στον αέρα πολύ κοντά στον τοίχο (όχι πιο μακριά από 0,1mm). Περιγράψτε την κίνησή του, αν κινείται, από τη στιγμή που η Ελένη χτυπά τα χέρια της μέχρι τη στιγμή που ακούει την ηχώ. Εξηγήστε πως καταλήξατε στην απάντησή σας.

Πίνακας 3.4.1

α/α	Α' Μέρος		Β' Μέρος		
	Ερώτηση 1	Ερώτηση 2	Ερώτηση 3	Ερώτηση 4	Ερώτηση 5
1	γ	γ	β	γ	α
2	α	β	α	β	α
3	α	β	α	β	α
4	α	α	α	α	α
5	γ	β	β	γ	α
6	γ	ε	γ	α	α
7	γ	δ	γ	γ	β
8	α	β	α	β	β
9	γ	α	β	α	β
10	γ	ε	β	β	β
11	α	γ	α	γ	α
12	γ	β	γ	β	γ
13	γ	δ	δ	γ	α
14	γ	γ	β	γ	α
15	γ	ε	β	γ	α
16	γ	γ	β	γ	α
17	γ	δ	β	γ	β
18	γ	ε	γ	γ	β
19	γ	γ	β	γ	β
20	γ	ε	γ	β	β
21	γ	α	β	γ	β
22	γ	β	β	α	α
23	α	α	α	α	α
24	γ	γ	β	α	β
25	α	β	γ	δ	α
26	δ	γ	δ	γ	α
27	γ	β	β	α	β
28	δ	β	β	δ	β
29	δ	β	β	δ	β
30	δ	β	β	δ	β
31	γ	γ	γ	γ	α
32	α	α	β	α	α
33	β	α	β	β	β
34	α	α	β	α	γ
35	α	δ	β	β	β
36	α	δ	β	β	β
37	β	β	β	α	α
38	α	γ	β	γ	α
39	δ	α	β	α	α
40	γ	γ	β	γ	β



41	α	γ	α	γ	α
42	δ	γ	β	γ	β
43	γ	β	β	ε	β
44	γ	β	β	β	β
45	γ	ε	β	γ	α
46	γ	γ	γ	γ	α
47	γ	γ	γ	γ	α
48	α	β	α	α	α
49	γ	β	γ	β	β
50	γ	β	γ	β	β
51	α	δ	α	α	α

Πίνακας 3.4.2

B' Μέρος				
α/α	Ερώτηση 6α	Ερώτηση 6β	Ερώτηση 7α	Ερώτηση 7β
1	β	β	β	β
2	α	α	α	β
3	α	α	α	β
4	α	α	α	β
5	α	ε	α	α
6	γ	γ	β	β
7	δ	ε	α	β
8	α	ε	δ	δ
9	στ	ε	β	β
10	στ	ε	α	δ
11	ε	δ	δ	δ
12	β	β	α	β
13	ε	δ	β	β
14	στ	ε	δ	δ
15	ε	δ	δ	δ
16	β	α	α	β
17	β	γ	β	β
18	στ	ε	β	δ
19	β	ε	δ	δ
20	στ	ε	δ	δ
21	β	α	α	β
22	δ	ε	α	β
23	στ	ε	α	β
24	ε	δ	α	β
25	ε	ε	α	β
26	β	β	α	β

27	δ	ε	δ	δ
28	β	ε	δ	δ
29	στ	ε	α	δ
30	στ	ε	α	γ
31	β	α	δ	β
32	α	α	α	β
33	ε	ε	δ	δ
34	στ	ε	δ	δ
35	στ	ε	γ	γ
36	στ	ε	γ	γ
37	δ	ε	α	γ
38	β	β	α	β
39	β	α	α	β
40	στ	ε	γ	β
41	α	α	α	α
42	α	α	α	β
43	β	β	α	β
44	β	β	β	β
45	στ	ε	δ	δ
46	γ	δ	γ	β
47	γ	δ	β	β
48	α	α	γ	γ
49	ε	δ	β	β
50	ε	δ	γ	β
51	δ	β	α	γ

Πίνακας 3.4.3

α/α	Αριθμός ερωτήσεων
1	1
2	4
3	4
4	6
5	2
6	2
7	0

8	2
9	2
10	0
11	3
12	0
13	1
14	1
15	1
16	1
17	0
18	0
19	0
20	0
21	1
22	2
23	5
24	1
25	2
26	1
27	1
28	0
29	0
30	0
31	1
32	5
33	1
34	3
35	1
36	1
37	2
38	2
39	3
40	0
41	5
42	1
43	0
44	0
45	1
46	1
47	1
48	5
49	0
50	0
51	4