

Αντιμετώπιση των δυσκολιών που αφορούν τη διδασκαλία των σεισμικών κυμάτων

Αγγελική Ρόκκα, Παύλος Μίχας (*)
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, pmichas@eled.duth.gr

Θεματική Ενότητα: Ειδικά διδακτικά θέματα, Εφαρμογές Πληροφορικής στην Εκπαίδευση
Επίπεδο Εκπαίδευσης: Λύκειο, Τριτοβάθμια Εκπαίδευση
Κατηγορία Εργασίας: Εμπειρική - Πειραματική έρευνα

Περίληψη: Τα σεισμικά κύματα εξετάζονται μέσα από το πλαίσιο της διδασκαλίας των κυμάτων. Καθώς τα πρώτα σεισμικά κύματα που φθάνουν σε ένα σταθμό είναι τα P (διαμήκη), εξετάζεται η καταγραφή αυτών των κυμάτων από 3 σειсмоγράφους που έχουν προσανατολισμό α) πάνω - κάτω, β) βορρά - νότο και γ) Ανατολή - Δύση. Παρουσιάζεται διδασκαλία της εύρεσης του αζιμούθιου του επικέντρου με ένα σταθμό.

(*) πρόσωπο επικοινωνίας

Λέξεις Κλειδιά: Διαμήκη κύματα, Σχετική κίνηση, Σεισμικά κύματα

Abstract: The seismic waves are examined in the context of the teaching of waves. It is examined the effect of the first seismic waves on three seismographs with different orientations, such as up – down, north – south and east – west, because the first arrival waves in a certain seismological station are the longitudinal waves (P – waves). In addition, a teaching of locating the azimuth of the epicenter from one station has been developed.

Εισαγωγή

Η διδασκαλία των κυματικών φαινομένων δεν έχει διερευνηθεί τόσο πολύ όσο άλλα φαινόμενα. Υπάρχουν εργασίες που αφορούν θέματα συμβολής των κυμάτων (Wittmann, κ.ά 1999, Ambrose κ.ά 1996α, 1996β) και του ήχου ως κύματος (Θεοδωρόπουλος κ.ά 1998). Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μια διαθεματική προσέγγιση των κυματικών φαινομένων που αφορά τη διδασκαλία τους σε συνδυασμό με τα σεισμικά κύματα. Συνήθως η διδασκαλία της εύρεσης της εστίας ενός σεισμού στα σχολικά εγχειρίδια περιορίζεται στη διαφορά χρόνου μεταξύ των πρώτων παλμών (P) και των δεύτερων παλμών (S). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί μαθηματικές σχέσεις. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μια εναλλακτική διδασκαλία που αποβλέπει στην κατανόηση του ρόλου του σειсмоγράφου καθώς και στην κατανόηση της καταγραφής των P κυμάτων σε ένα σειсмоγράφο. Για την ανάπτυξη της διδασκαλίας αυτής εξετάστηκαν οι απόψεις των δευτεροετών φοιτητών του ΠΤΔΕ για κυματικά φαινόμενα που έχουν σχέση με τους σεισμούς.

Για την κατανόηση της μεθόδου αυτής θα πρέπει πρώτα ο μαθητής κατά πρώτο λόγο να κατανοήσει το είδος της κινήσεων που προκαλεί η άφιξη μιας διαταραχής (ενός πυκνώματος ή ενός αραιώματος) και κατά δεύτερο λόγο να κατανοήσει τις σχετικές κινήσεις μεταξύ του κυλίνδρου του σειсмоγράφου και του βαριδιού.

Η μέθοδος αναπτύχθηκε σταδιακά ως εξής:

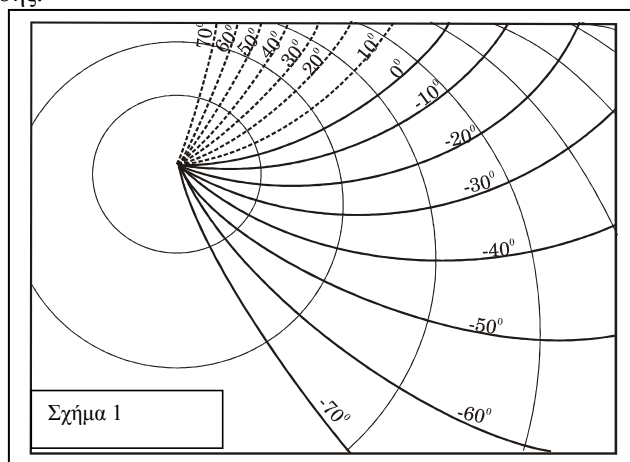
Πρώτον στα πλαίσια του εργαστηριακού μαθήματος «Πειράματα Φυσικής Ι»

Δεύτερον στα πλαίσια του μαθήματος "Αρχές Φυσικής"

Τρίτον στα πλαίσια του μαθήματος «Πειραματική Διδασκαλία Φυσικής».

Δηλαδή η μέθοδος εφαρμόστηκε με σταδιακές βελτιώσεις για διάστημα δύο ακαδημαϊκών ετών σε φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος της Δημοτικής Εκπαίδευσης.

Για την διερεύνηση των απόψεων δόθηκε ένα ερωτηματολόγιο σε δείγμα (N=42) δευτεροετών φοιτητών του Παιδαγωγικού, ακολούθως έγινε η διδασκαλία που αφορούσε τα διαμήκη κύματα (επιμήκη κατά την ορολογία της Σεισμολογίας) και τα επιμήκη σεισμικά κύματα και τέλος δόθηκε ερωτηματολόγιο (N=43) τη διερεύνηση της κατανόησης των διδασκόμενων εννοιών. Τα αποτελέσματα των εξετάσεων στα αντίστοιχα μαθήματα με ερωτήματα παρόμοια εκείνων των ερωτηματολογίων, που αναφέρθηκαν προηγουμένα, έδειξαν ότι οι φοιτητές του Π.Τ.Δ.Ε. δύνανται να κατανοήσουν σημαντικό ποσοστό του γνωστικού περιεχόμενου, τόσο από τη μελέτη του από τις σημειώσεις, όσο και από την ταυτόχρονη παρακολούθηση του στις διδασκαλίες.



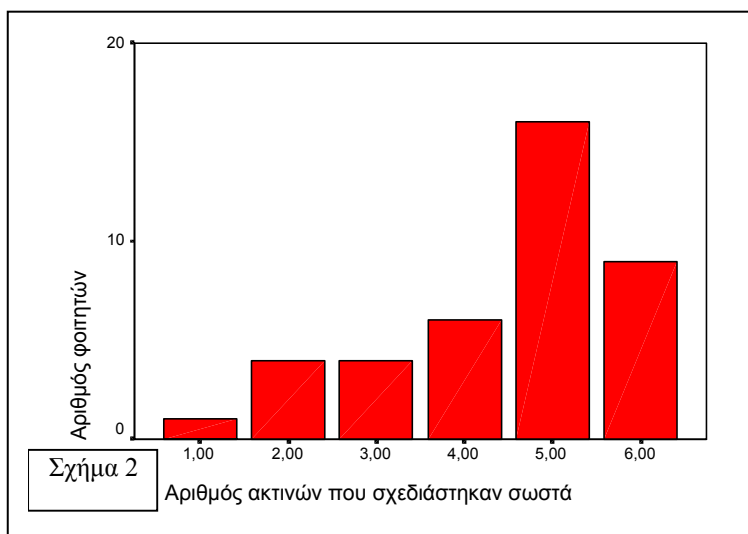
Α) Είδος της κίνησης που προκαλεί ένα διάμηκες (επίμηκες) κύμα.

Μια δυσκολία που αντιμετωπίζεται σε φοιτητές καθώς και σε καθηγητές Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης με τους οποίους έγινε συζήτηση του θέματος είναι ότι εκ πρώτης όψεως φαίνεται παράδοξο πως ένα διάμηκες κύμα μπορεί να παράγει εγκάρσιες κινήσεις «πάνω – κάτω». Αποδείχτηκε από ότι η δυσκολία οφείλεται στις εικόνες των διαμήκων κυμάτων τόσο στα εγχειρίδια Φυσικής όσο και στα βιβλία Σεισμολογίας, όπου συνήθως παρουσιάζονται τα διαμήκη κύματα να διαδίδονται μόνο σε οριζόντια μέσα (π.χ. σωλήνες). Σε ερώτηση του προκαταρκτικού ερωτηματολογίου «Μπορεί ένα διάμηκες σεισμικό κύμα να προκαλέσει κίνηση πάνω – κάτω;» καταγράφηκαν τα εξής αποτελέσματα:

Α) Το 40% των φοιτητών του δείγματος (N=42) κατανοούν την έννοια του διαμήκους κύματος θεωρώντας ότι είναι δυνατόν να παράγει κίνηση εγκάρσιας μορφής δηλαδή πάνω κάτω).

Β) Τα 60% των φοιτητών του δείγματος θεωρούν, υιοθετώντας διάφορους τρόπους προσέγγισης και κατανόησης της έννοιας, ότι δεν είναι δυνατό να συμβεί κάτι παρόμοιο.

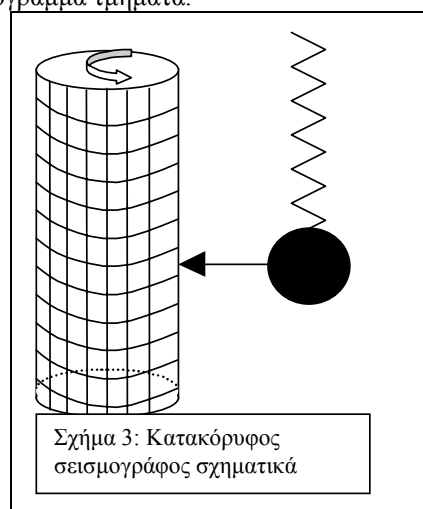
Β) Σεισμικές ακτίνες



Μια δυσκολία, που αντιμετώπισαν οι Β'ετείς φοιτητές του ΠΤΔΕ, οφειλόταν στο ότι είχε προηγηθεί η διδασκαλία της γεωμετρικής οπτικής, όπου τονίζεται η ευθύγραμμη διάδοση του φωτός με βάση το μοντέλο των ακτίνων. Για τους φοιτητές ήταν δύσκολο να συνδυάσουν τις ακτίνες με τα μέτωπα κύματος. Κατά τη διδασκαλία των κυμάτων έγινε προσπάθεια να διδαχθεί η διάθλαση σε συνδυασμό με τα «μέτωπα κύματος», που αλλάζουν κατεύθυνση καθώς το κύμα διαδίδεται από το ένα μέσο στο άλλο. Στην περίπτωση βαθμιαίας αλλαγής της ταχύτητας οι ακτίνες είναι καμπύλες γραμμές. Παρατηρήθηκε ότι οι φοιτητές δε μπορούσαν να συνδυάσουν την έννοια του «μετώπου του κύματος» με την ακτίνα. Συνήθως, οι ακτίνες σχεδιάζονται ως ευθύγραμμα τμήματα.

Μια ιδιαίτερη δυσκολία παρουσιάζεται όταν δίνεται το μοντέλο της δομής μιας περιοχής, όπου η ταχύτητα θεωρείται σταθερή σε στρώματα μικρού πάχους (αυτό το μοντέλο εμφανίζεται συνήθως στα βιβλία της Σεισμολογίας). Αν ζητηθεί να σχεδιαστεί η πορεία μιας ακτίνας, που ξεκινά οριζόντια (γωνία 0°) (Σχ. 1), τότε σχεδιάζεται πάντα οριζόντια, παρόλο ότι γίνεται εμφανές ότι τα μέτωπα του κύματος δεν είναι κάθετα προς την ακτίνα.

Έτσι για να αντιμετωπιστεί η δυσκολία αυτή, και για να γενικευθεί η έννοια της ακτίνας καθώς και για τη διδασκαλία της έννοιας του μετώπου κύματος, δημιουργήθηκε ένα απλό λογισμικό στο οποίο φαίνεται ότι ο παλμός που ξεκινά από την εστία μπορεί να διαδίδεται προς όλες τις κατευθύνσεις με ταχύτητα που συνήθως αυξάνει με το βάθος. Στην περίπτωση αυτή, δείχνεται ότι τα κύματα, που φθάνουν σε έναν τόπο που δε βρίσκεται στην κατακόρυφο πάνω από την εστία του σεισμού, έρχονται από κάτω οπότε υπάρχει μία συνιστώσα του κύματος που δίνει διαταραχές πάνω κάτω. Στο λογισμικό δείχνονται και οι σεισμικές ακτίνες από την εστία του σεισμού. Οι σεισμικές ακτίνες στην περίπτωση αυτή είναι καμπύλες γραμμές (Σχήμα 1). Για την περίπτωση της ακτίνας που ξεκινά οριζόντια φαίνεται σαφώς ότι η ακτίνα αλλάζει διεύθυνση, έτσι ώστε να είναι συνεχώς κάθετη προς τα μέτωπα του κύματος. Μπορούμε, λοιπόν, να δούμε ότι η ιδιαίτερη αυτή ακτίνα κάμπτεται προς τα πάνω όταν η ταχύτητα αυξάνει με το βάθος ενώ κάμπτεται προς τα κάτω στην αντίθετη περίπτωση. Στο ερωτηματολόγιο μετά τη διδασκαλία δόθηκαν 2 ομάδες μετώπων κύματος από τον Hewitt(1990 (σελ. 347) και ζητήθηκε να σχεδιαστούν 6 ακτίνες. Το 73% του ελεγχθέντος δείγματος σχεδίασαν με ορθό τρόπο περισσότερες από 4 ακτίνες (Σχήμα 2).



Γ) Διάδοση των σεισμικών κυμάτων

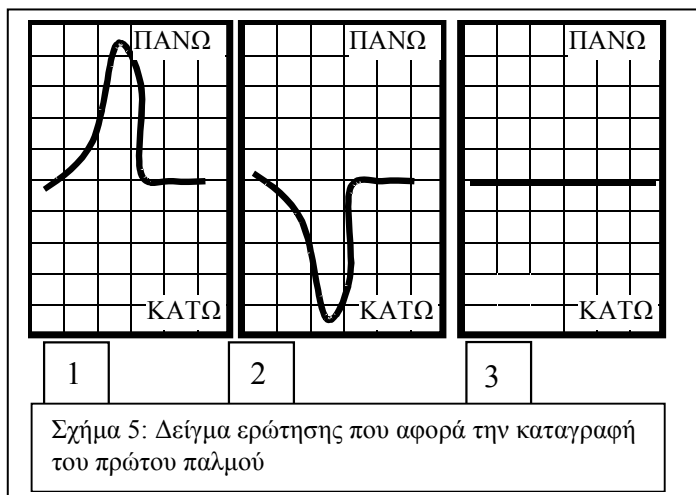
Ως προς τη συσχέτιση μήκους κύματος και ταχύτητας στο ερωτηματολόγιο που προηγήθηκε της διδασκαλίας, δόθηκε μια ερώτηση με πολλές επιλογές, όπου ζητήθηκε να σημειωθούν όσες απαντήσεις θεωρούνται σωστές.

Το 49% του δείγματος απαντούν ότι σε μεγαλύτερη ταχύτητα αντιστοιχεί μεγαλύτερο μήκος κύματος όμως οι μισοί από αυτούς απαντούν ότι και η συχνότητα αυξάνεται ταυτόχρονα με την αύξηση του μήκους κύματος. Ένα, επίσης, μεγάλο ποσοστό έδωσε και ταυτόχρονα και άλλες απαντήσεις γεγονός που δείχνει ότι δεν είχαν κατανοήσει τη σταθερότητα της συχνότητας στο 21% επί του συνόλου. Επομένως τα προηγούμενα ποσοστά του δείγματος καταδεικνύουν ότι δεν έχει κατανοηθεί τόσο η έννοια της συχνότητας όσο και του μήκους κύματος. Μόνο το 24% του δείγματος απαντούν ότι μόνον το μήκος κύματος αυξάνεται. Έτσι, αποδείχτηκε ότι η χρήση του λογισμικού βοήθησε αρκετούς φοιτητές να διαπιστώσουν ότι η απόσταση μεταξύ μετώπων κύματος αυξάνει καθώς αυξάνει η ταχύτητα.

Δ) Πρώτη κίνηση (για πύκνωμα ή αραιώμα)

Η πρόβλεψη της κατεύθυνσης της κίνησης που προκαλεί η άφιξη ενός πυκνώματος ή ενός αραιώματος είναι βασική για την κατανόηση της καταγραφής των κυμάτων από το σειсмоγράφο.

Στο ερωτηματολόγιο πριν από τη διδασκαλία δόθηκαν ερωτήματα για την πρώτη κίνηση στην περίπτωση του πυκνώματος τα 37% απάντησαν σωστά ως προς την πρώτη κίνηση του άκρου ενώ για το αραιώμα έδωσαν 48% σωστές απαντήσεις. Προτείνεται ένα απλό πείραμα επίδειξης από το οποίο μπορεί να προκύψει ευκολότερα η σωστή απάντηση. Επιπλέον στους φοιτητές επιδείχθηκε και μια προσομοίωση ηλεκτρονικού υπολογιστή ενός διαμήκους κύματος με την οποία μπορούσαν να παρατηρήσουν σε πιο αργό ρυθμό την εξέλιξη του φαινομένου. Όπως φάνηκε από τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου μετά τη διδασκαλία και των εξετάσεων, σχεδόν το σύνολο των φοιτητών απάντησαν ορθά ότι η πρώτη κίνηση που προκαλεί η άφιξη ενός πυκνώματος, καθώς φθάνει ο παλμός ενός σεισμικού κύματος, έχει κατεύθυνση προς τα πάνω. Εδώ φάνηκε να ξεπερνιέται μια δυσκολία που εισάγει ο όρος "πύκνωμα", δηλαδή συμπίεση, άρα πλησίασμα μεταξύ των μορίων του σώματος.

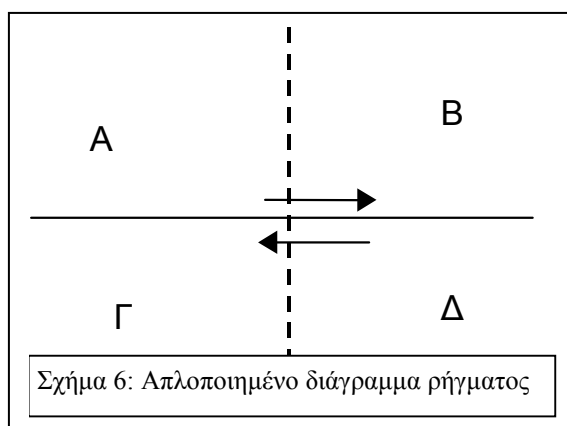
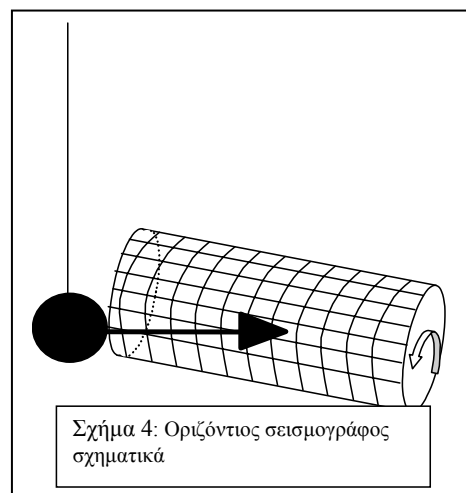


συνδέεται με ένα ελατήριο στους κατακόρυφους σειсмоγράφους (Σχήμα 3) ή του βαριδίου του εκκρεμούς για τους οριζόντιους σειсмоγράφους (Σχήμα 4).

Σε ερώτηση του ερωτηματολογίου πριν από τη διδασκαλία (Σχήμα 5): Αν ο πρώτος παλμός είναι πύκνωμα, ποια από τις καταγραφές του κατακόρυφου σειсмоγράφου αντιστοιχεί στην κίνηση αυτή. Σε 43 απαντήσεις οι 26 ήταν λανθασμένες. Σε παρόμοια ερώτηση του ερωτηματολογίου μετά τη διδασκαλία, η οποία όμως απαιτούσε ταυτόχρονα να καθορίσουν αν σε μια περιοχή φτάνει αραιώμα με βάση το Σχήμα 6 (Παπαζάχος 1990) και τι κίνηση προκαλείται σε ένα οριζόντιο σειсмоγράφο με πρόβλεψη της αντίστοιχης καταγραφής μετά τη διδασκαλία υπήρξε μια αρκετά καλή κατανόηση: Επί 42 απαντήσεων οι 26 πρόβλεψαν ορθά την κίνηση του κυλίνδρου και ορθά την αντίστοιχη καταγραφή ενώ οι 10 ορθά την κίνηση αλλά λάθος την αντίστοιχη καταγραφή. Από την εφαρμογή της παραπάνω διδακτικής διαδικασίας προκύπτει, ότι το 61% του δείγματος κατανόησαν πλήρως τη σχέση μεταξύ του είδους του παλμού και της καταγραφής.

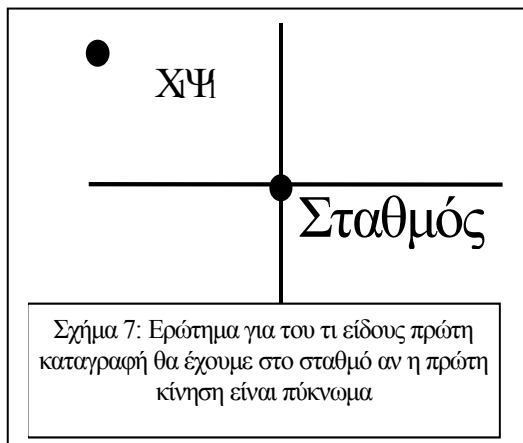
ΣΤ) Πρόβλεψη της πρώτης κίνησης με βάση την κίνηση του ρήγματος

Το Σχήμα 6 παρουσιάζει ένα απλοποιημένο μοντέλο ρήγματος για τη γένεση των σεισμών. Από τους φοιτητές ζητείται να προβλέψουν το είδος του παλμού (πύκνωμα ή αραιώμα) που θα παρατηρηθεί σε κάθε μία από τις



περιοχές Α,Β,Γ και Δ. Δίνεται η παραδοχή ότι κατά την εστιγμένη γραμμή του Σχήματος 6 δεν έχουμε διαταραχές από τον πρώτο παλμό.

Ζητείται από τους φοιτητές να σχεδιάσουν τους πρώτους παλμούς στις περιοχές Α, Β, Γ και Δ του Σχήματος 6, αντίστοιχα. Σε σχετικό ερώτημα μετά τη διδασκαλία ένα ποσοστό 85% βρήκαν ορθά το είδος του πρώτου παλμού.



προσδιορίζεται το είδος του παλμού (πύκνωση ή αραιώμα) το οποίο αναγράφεται στο σειсмоγράφο καθώς και το τεταρτημόριο στο οποίο προσδιορίζεται το επίκεντρο.

Έτσι από τα παραπάνω προκύπτει ο προβληματισμός για την εύρεση του επίκεντρου του σεισμού στην περίπτωση που έχουμε δύο σταθμούς. Εξάγεται το συμπέρασμα ότι αν χαραχθούν οι ευθείες από δύο σταθμούς προς τις αντίστοιχες κατευθύνσεις, η τομή των δύο αυτών ευθειών δίνει το επίκεντρο.

Στην προσπάθεια ελέγχου της κατανόησης των παραπάνω εννοιών από το δείγμα, μετά την πάροδο ενός μήνα από τη διδασκαλία τους, δόθηκε στις εξετάσεις ερώτημα το οποίο παρουσιάζεται στο Σχήμα 8. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι από τους φοιτητές που παρακολούθησαν τα μαθήματα ($N = 42$), το 65% έδωσαν ορθή απάντηση ως προς το αν είναι πύκνωση ή αραιώμα, το 82% απάντησαν σωστά ως προς την κίνηση του κυλίνδρου Ανατολή – Δύση και 68% ως προς την κίνηση του κυλίνδρου Βορρά – Νότου. Όμως μόνο το 25% του δείγματος προσδιόρισε το σημείο γένεσης του σεισμού. Έτσι φαίνεται η βασική δυσκολία του δείγματος των φοιτητών εντοπίζεται στο Σχήμα 6 όπου δεν κατανοήθηκε η κατανομή των τάσεων. Στη συνέχεια περιγράφεται μια καινοτόμος διδακτική προσέγγιση η οποία σχεδιάστηκε με στόχο να αντιμετωπίσει το παραπάνω πρόβλημα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 9. Το μοντέλο της προσέγγισης περιλαμβάνει μια αναπαράσταση των κινήσεων του ρήγματος που δίνει ταυτόχρονα και την κατανομή των πρώτων κινήσεων στην περιοχή.

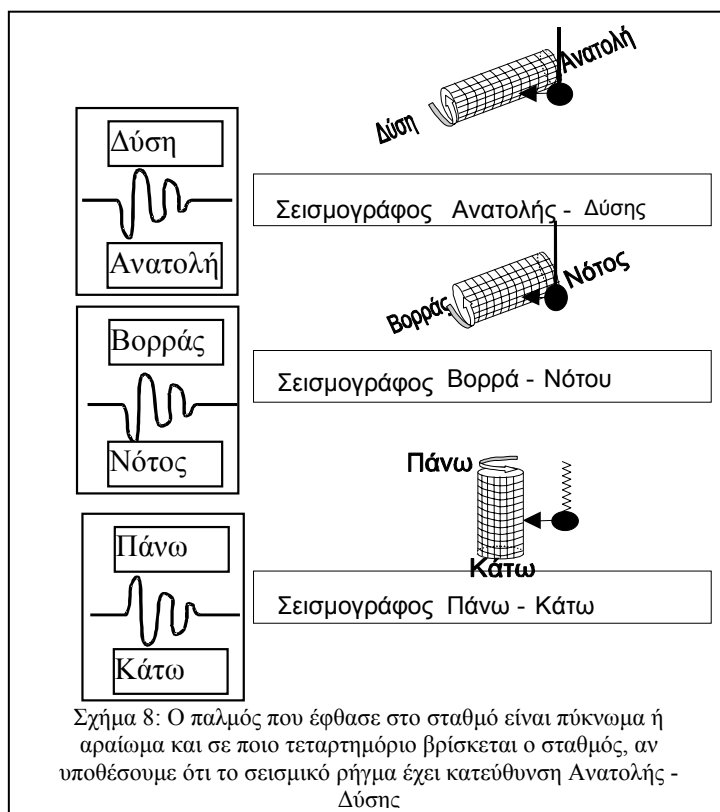
Συμπεράσματα

Η μέθοδος διδασκαλίας των σεισμικών κυμάτων που παρουσιάστηκε στην παρούσα εργασία πλεονεκτεί ως προς την παραδοσιακή γιατί δεν απαιτεί τη χρήση υπολογιστικών μεθόδων με την επίπονη διαδικασία της επίλυσης αλγεβρικών εξισώσεων. Το δείγμα των φοιτητών που διδάχθηκε το θέμα των σεισμικών κυμάτων αποδεικνύεται ότι κατανόησε πλήρως τη διδασκαλία του. (Όπως χαριτολογώντας οι ίδιοι φοιτητές σχολίασαν ότι ήταν το καλύτερο τους μάθημα.) Επιπλέον καταδεικνύεται ότι είναι εύκολο να κατανοηθούν οι σχετικές κινήσεις των κυλίνδρων των σειсмоγράφων και οι αντίστοιχες καταγραφές τους, όμως είναι πιο δύσκολο να χρησιμοποιηθούν οι 3 καταγραφές από αυτούς για να είναι εφικτός με ορθό τρόπο ο προσδιορισμός της εστίας του σεισμού. Αποδεικνύεται ότι θέματα όπως η καμπύλωση των ακτίνων και άλλων κυματικών φαινομένων (διάθλαση του φωτός, διάδοση του ήχου) και αντίστοιχων εννοιών, μπορούν να διδαχθούν εύκολα και κατανοητά μέσα από την παραπάνω διδακτική διαδικασία. Σημαντικό εργαλείο στη διδασκαλία των σεισμικών κυμάτων αποτέλεσαν οι

Ζ) Εύρεση της εστίας του σεισμού με βάση τις πρώτες καταγραφές

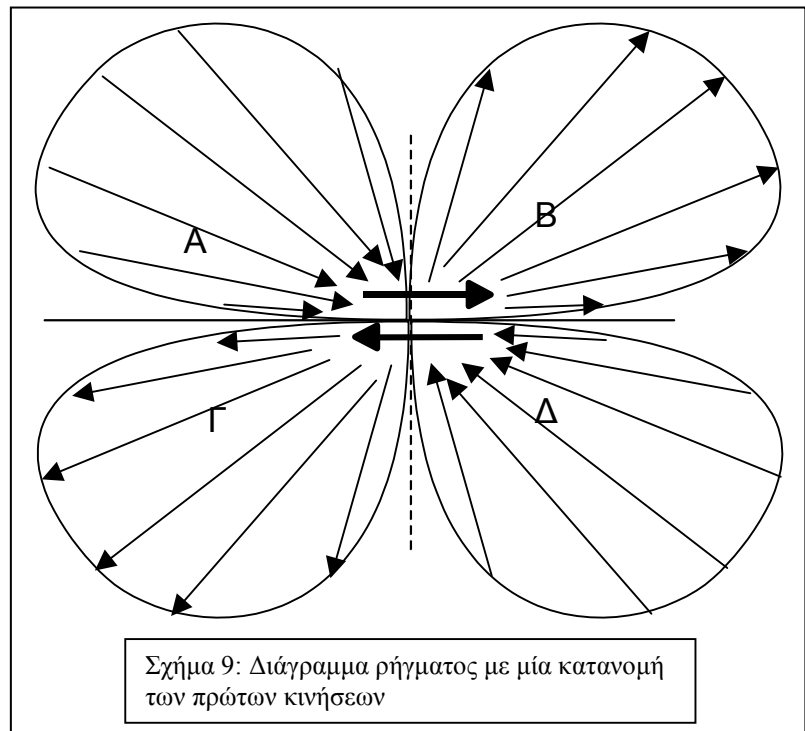
Μια άλλη ερώτηση που δόθηκε, αφορά στο είδος της καταγραφής στο σεισμολογικό σταθμό του Σχήματος 7 αν ο πρώτος παλμός που έρχεται από το σημείο (X_1, Ψ_1) είναι πύκνωση. Σε ερώτηση μετά τη διδασκαλία για την πρώτη κίνηση του κυλίνδρου Ανατολή – Δύση το 71% έδωσε ορθή απάντηση ως προς το είδος της κίνησης και το 65% έδωσε ορθή απάντηση ως προς το είδος της καταγραφής.

Στη συνέχεια έγινε διδασκαλία για την εύρεση του αζιμούθιου (κατεύθυνσης) του επίκεντρου του σεισμού για τον οποίο δίδονται τρεις καταγραφές και ζητείται να



Σχήμα 8: Ο παλμός που έφθασε στο σταθμό είναι πύκνωση ή αραιώμα και σε ποιο τεταρτημόριο βρίσκεται ο σταθμός, αν υποθέσουμε ότι το σεισμικό ρήγμα έχει κατεύθυνση Ανατολής - Δύσης

ηλεκτρονικοί υπολογιστές και η δυνατότητα κατασκευής των αναφερομένων μοντέλων προσομοίωσης τα οποία οδήγησαν στην επιτυχή διδασκαλία των σεισμικών κυμάτων εισάγοντας και καινοτόμους τρόπους παρουσίασης και κατανόησης των σεισμικών φαινομένων τα οποία περιγράφονται μέσα από την κυματική προσέγγιση τους (Σχήμα 9). Έτσι συμπερασματικά προτείνουμε χρήση συνδυαστικών μεθόδων και διδασκαλίας των κυματικών μορφών με αυτά που αφορούν τις σεισμικές διεργασίες – σεισμικά κύματα με σκοπό την καλύτερη κατανόηση τους, ως συχνού φαινομένου το οποίο παρατηρείται ευρέως στον Ελλαδικό χώρο.



Βιβλιογραφία

- Ambrose B, Shaffer P, Steinberg R, McDermott L (1996α) *An investigation of student understanding of single – slit diffraction and double- slit interference*, American Journal of Physics, Vol 67 (2) σελ. 146-55
- Ambrose B, Heron P, Vokos S, McDermott L (1996β) *Student understanding of light as an electromagnetic wave: Relating the formalism to physical phenomena*, American Journal of Physics, Vol 67 (9) σελ. 755-67
- Wittmann M, Steinberg R, Redish E (1999), *Making Sense of How Students Make Sense of Mechanical Waves*, The Physics Teacher, Vol. 37, January 1999, σελ. 15-21
- Θεοδωρόπουλος Β., Δόσης Σ., Κανδεράκης Ν., Καρανίκας Γ., Κολιόπουλος Δ. Και Φασουλόπουλος Γ. (1998), *Όταν ο ήχος έγινε κύμα: Μια επισκόπηση των ιδεών για την έννοια του ήχου στην επιστήμη και στους μαθητές*, Πρακτικά του 1ου Πανελληνίου Συνεδρίου: Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και Εφαρμογή των Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση», Θεσσαλονίκη 29 – 31 Μαΐου 1998, Εκδόσεις Χριστοδουλίδη
- Κόκκοτας Π. Βλάχος Ι, Γραμματικάκης Ι. Καραπαναγιώτης Β. Περιστερόπουλος Π., Τιμοθέου Γ. (2000) *Φυσική Γενικής Παιδείας, Β' Τάξης Ενιαίου Λυκείου*, ΟΕΔΒ .
- Βασίλης Παπαζάχος (1990), *Εισαγωγή στη σεισμολογία*, Ζήτης, Θεσσαλονίκη
- Hewitt Paul (1990) *Οι έννοιες της Φυσικής*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης
- Το Ανοικτό Πανεπιστήμιο (1986), *Σεισμικά κύματα και το εσωτερικό της Γης*, Κουτσουμπός, Αθήνα