

Περίθλαση λόγω κυμάτων επιφανειακής τάσης σε νερό

Εισαγωγή

Η δημιουργία και η διάδοση κυμάτων στην επιφάνεια ενός υγρού αποτελούν σημαντικά και καλά μελετημένα φαινόμενα. Στα κύματα αυτά η δύναμη επαναφοράς προέρχεται εν μέρει από τη βαρύτητα και εν μέρει από την επιφανειακή τάση. Για μήκη κύματος πολύ μικρότερα μιας κρίσιμης τιμής, λ_c , η επίδραση της βαρύτητας θεωρείται αμελητέα και μόνο η επίδραση της επιφανειακής τάσης λαμβάνεται υπόψη ($\lambda_c = 2\pi \sqrt{\frac{\sigma}{\rho g}}$, όπου σ είναι η επιφανειακή τάση, ρ η πυκνότητα του υγρού και g η επιτάχυνση της βαρύτητας).

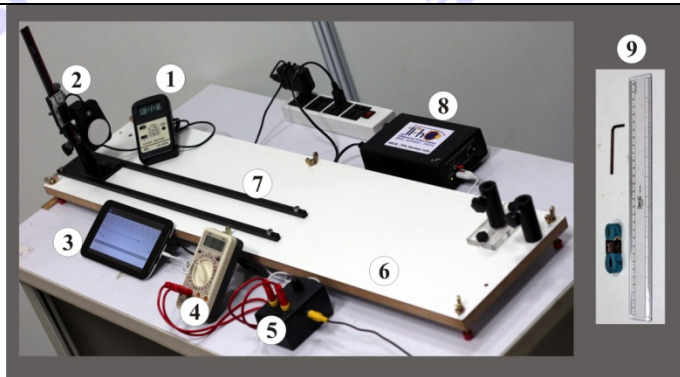
Στο Μέρος αυτό θα μελετήσετε κύματα επιφανειακής τάσης στην επιφάνεια ενός υγρού, με μήκη κύματος μικρότερα του λ_c . Η επιφανειακή τάση είναι μια ιδιότητα των υγρών, εξ αιτίας της οποίας η επιφάνεια του υγρού συμπεριφέρεται ως μια τεντωμένη μεμβράνη. Μια διαταραχή που συμβαίνει σε κάποιο σημείο της επιφάνειας του υγρού διαδίδεται υπό μορφή κύματος όπως σε μία μεμβράνη. Ένας ηλεκτρικά ελεγχόμενος ταλαντωτής χρησιμοποιείται για την παραγωγή κυμάτων στην επιφάνεια του υγρού. Όταν μια ακτίνα laser συναντά τα επιφανειακά κύματα, σχηματίζοντας μικρή γωνία ως προς την επιφάνεια του υγρού, τα κύματα συμπεριφέρονται σαν ανακλαστικό πλέγμα, δημιουργώντας ένα ευδιάκριτο επαναλαμβανόμενο μοτίβο (εικόνα) περίθλασης.

Τα κύματα επιφανειακής τάσης αποσβένονται (το πλάτος τους μειώνεται με την απόσταση από την πηγή) κατά τη διάδοσή τους. Η απόσβεση αυτή οφείλεται στο ιξώδες (εσωτερική τριβή) του υγρού, που είναι μέτρο της δυσκολίας στη σχετική κίνηση ενός στρώματος μορίων του υγρού ως προς τα γειτονικά του (ρευστότητα).

Σκοπός

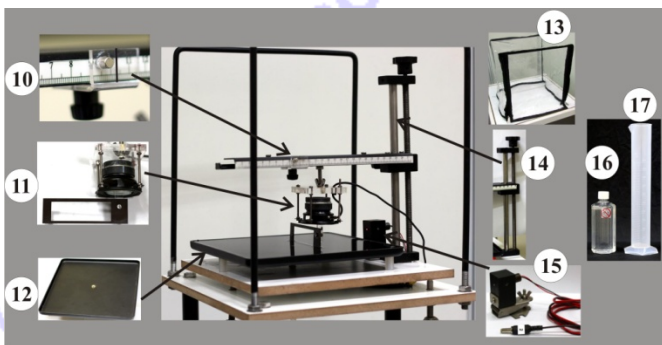
Θα προσδιορίσουμε την επιφανειακή τάση και του ιξώδες του νερού, εκμεταλλευόμενοι την περίθλαση από κύματα επιφανειακής τάσης.

Πειραματικός εξοπλισμός



[1]	Φωτόμετρο (συνδεδεμένο στη Διάταξη του Ανιχνευτή Φωτός)
[2]	Διάταξη Ανιχνευτή Φωτός με διαστημόμετρο το οποίο βρίσκεται σε βάση οθόνης.
[3]	Tablet (ως γεννήτρια παραγωγής ημιτονοειδών κυμάτων)
[4]	Ψηφιακό πολύμετρο
[5]	Συσκευή ελέγχου του ταλαντωτή
[6]	Ξύλινη πλατφόρμα
[7]	Ράγες για τη μετακίνηση της Διάταξης Ανιχνευτή Φωτός
[8]	Πηγή ρυθμιζόμενου συνεχούς ρεύματος (DC)
[9]	Κλειδί βιδώματος, μετροταινία και χάρακας.

Εικόνα 1: Μονάδα ξύλινης πλατφόρμας

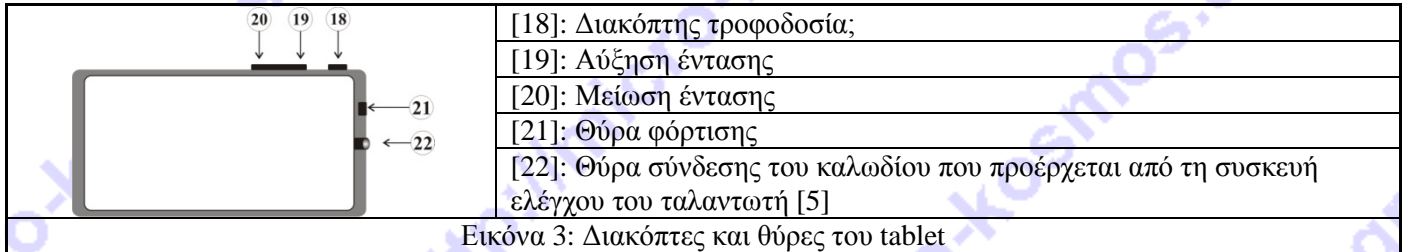


[10]	Χάρακας μέτρησης και συρόμενος δείκτης θέσης του ταλαντωτή
[11]	Διάταξη ταλαντωτή
[12]	Ρηχό δοχείο (δίσκος) για το νερό
[13]	Πλαστικό κάλυμα
[14]	Διάταξη ρύθμισης ύψους ταλαντωτή
[15]	Πηγή φωτός laser 2 (Μήκος κύματος, $\lambda_L = 635 \text{ nm}$, $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$)
[16]	Ποσότητα νερού για την εκτέλεση του πειράματος
[17]	Ογκομετρικός κύλινδρος 500 ml

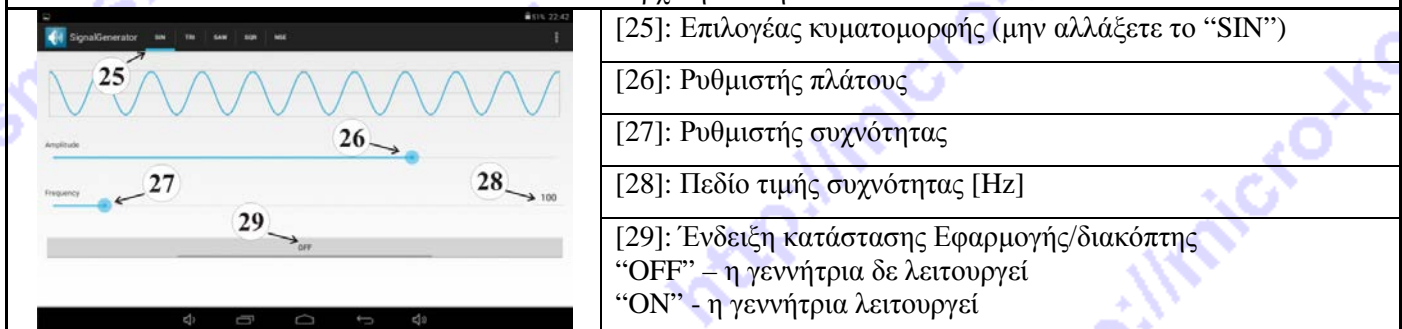
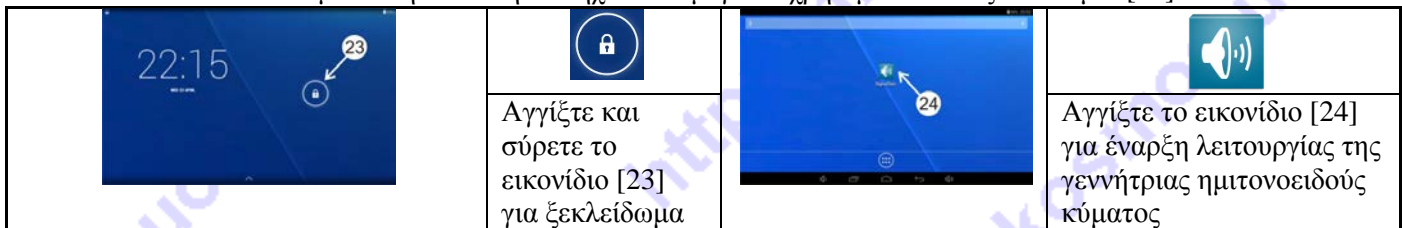
Εικόνα 2: Μονάδα ταλαντωτή / μονάδα πηγής φωτός laser

Περιγραφή πειραματικού εξοπλισμού

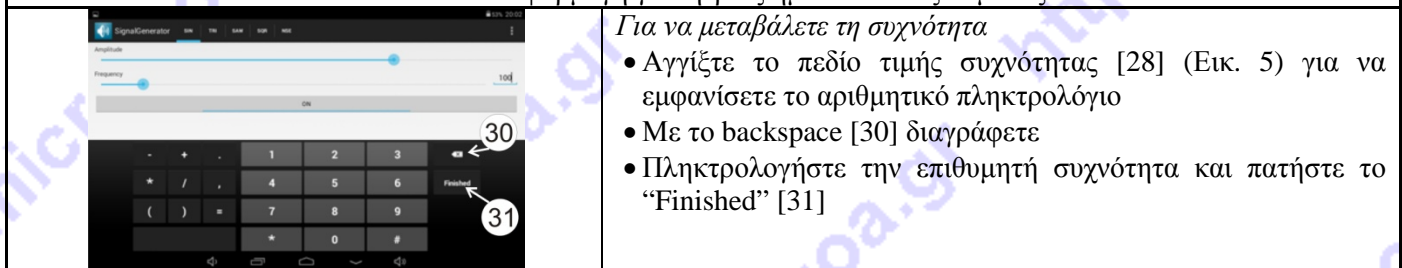
α) Tablet ως γεννήτρια παραγωγής ημιτονοειδών κυμάτων



- Σημείωση
- Διατηρήστε το tablet σε διαρκή φόρτιση.
 - Πατήστε απαλά το Διακόπτη [18] *μία φορά* για να εμφανιστεί η αρχική οθόνη.
 - Ρυθμίστε την ένταση του ήχου στο μέγιστο χρησιμοποιώντας το κουμπί [19].



Εικόνα 5: Η εφαρμογή γεννήτριας ημιτονοειδούς κύματος



Εικόνα 6: Οθόνη αριθμητικού πληκτρολογίου για επιλογή τιμής συχνότητας

Για να μεταβάλετε το πλάτος

- Χρησιμοποιήστε το ρυθμιστή πλάτους [26] στην οθόνη του tablet ή τον περιστρεφόμενο διακόπτη [33] στη συσκευή ελέγχου του ταλαντωτή [5].

β) Συσκευή ελέγχου ταλαντωτή, ψηφιακό πολύμετρο, Πηγή ρυθμιζόμενου συνεχούς ρεύματος (DC) και οι συνδέσεις τους

[32]: Υποδοχές σύνδεσης καλωδίων πολύμετρου	[37]: Πλαίσιο που προσαρμόζεται στον ταλαντωτή για δημιουργία κυματισμών	Εικόνα 10: Πηγή Laser 2 [15] (στερεωμένη σε μεταλλική βάση) με καλώδιο σύνδεσης [42]	
[33]: Περιστρεφόμενος διακόπτης ελέγχου του πλάτους του ημιτονοειδούς κύματος	[38]: Ακροδέκτης καλωδίου από τη Διάταξη Ταλαντωτή		
[34]: Υποδοχή καλωδίου από τη Διάταξη Ταλαντωτή.	Εικόνα 8: Διάταξη ταλαντωτή [11]		
[35]: Βύσμα USB για σύνδεση στην πηγή ρυθμιζόμενου συνεχούς ρεύματος (DC)		[39]: Επιλογέας AC/DC	[43]: Διακόπτης έντασης (διατηρήστε τον στη θέση "High")
[36]: Βύσμα για σύνδεση στην έξοδο ήχου του tablet		[40]: Περιστρεφόμενος επιλογέας κλίμακας	[44]: Υποδοχή USB για το καλώδιο USB προερχόμενο από τη συσκευή ελέγχου ταλαντωτή.
Εικόνα 7: Συσκευή ελέγχου ταλαντωτή[5]		[41]: Υποδοχές σύνδεσης	[45]: Υποδοχή σύνδεσης καλωδίου από την πηγή laser 2
	Εικόνα 9: Ψηφιακό πολύμετρο[4]		Εικόνα 11: Πηγή ρυθμιζόμενου συνεχούς ρεύματος (DC) [8]

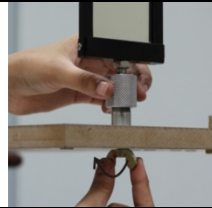


[36]→[22]	[38]→[34]	[41]↔[32]	[35]→[44] and [42]→[45]

Εικόνα 12: Συνδέσεις tablet, συσκευής ελέγχου ταλαντωτή και πηγής ρυθμιζόμενου συνεχούς ρεύματος (DC)

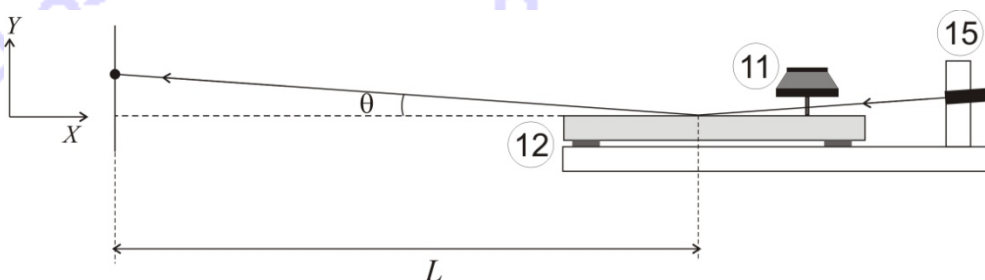
γ) Διάταξη ανιχνευτή φωτός και φωτόμετρο

[46]: Κυκλικό άνοιγμα του ανιχνευτή φωτός [47]: Διακόπτης τροφοδοσίας φωτόμετρου [48]: A, B, C – Περιοχές ευαισθησίας φωτόμετρου		Το ένα σκέλος του διαστημόμετρου προσαρμόζεται σε υποδοχή στο πίσω μέρος του φωτοανιχνευτή.	Σφίξτε τη βίδα με το κλειδί
Εικ. 13: Διάταξη ανιχνευτή φωτός και φωτόμετρο		Εικόνα 14: Συναρμολόγηση διάταξης ανιχνευτή φωτός	

Αρχικές ρυθμίσεις

		
Εικόνα 15: Απομάκρυνση του ανακλαστήρα	Εικόνα 16: Βίδες της βάσης σε επαφή με την ξύλινη λωρίδα	Εικόνα 17: Σωστή τοποθέτηση του πλαισίου του ταλαντωτή και του μαύρου περιστρεφόμενου διακόπτη για τη ρύθμιση του ύψους

1. Να αποσυνδέσετε το καλώδιο του laser 1 και να συνδέσετε το καλώδιο του laser 2 στην υποδοχή της πηγής ρυθμιζόμενου συνεχούς ρεύματος (DC). Σημειώση: Το laser 2 έχει εκ των προτέρων ρυθμιστεί για συγκεκριμένη τιμή της γωνίας πρόσπτωσης. Μην αγγίζετε την πηγή laser!
2. Να αφαιρέσετε τον δεξιό ανακλαστήρα που χρησιμοποιήθηκε στο E-I ξεβιδώνοντας τη βίδα κάτω από την ξύλινη πλατφόρμα (Εικ. 15).
3. Να αφαιρέσετε την οθόνη που χρησιμοποιήθηκε στο E-I και να εισαγάγετε τη διάταξη ανιχνευτή φωτός στη βάση της οθόνης. Τοποθετήστε τη βάση της οθόνης ανάμεσα στις ράγες [7].
4. Να τοποθετήσετε την ξύλινη πλατφόρμα [6] με τις βίδες της βάσης της να ακουμπούν στην ξύλινη λωρίδα που έχει στερεωθεί στον πάγκο εργασίας (Εικ. 16).
5. Να ανασηκώσετε το πλαϊνό φύλλο του πλαστικού καλύματος στη μονάδα ταλαντωτή/πηγής laser. Να ρίξετε ακριβώς 500 ml νερού στο δίσκο [12] χρησιμοποιώντας τον ογκομετρικό κύλινδρο [17].
6. Να ενεργοποιήσετε το laser. Να βεβαιωθείτε ότι η κηλίδα του ανακλώμενου φωτός laser βρίσκεται στον ανιχνευτή φωτός. Καθώς μετακινείτε τη διάταξη ανιχνευτή φωτός μπρος-πίσω, θα πρέπει το σημείο πρόσπτωσης να μετακινείται κατακόρυφα και όχι σε άλλες διευθύνσεις. Μικρο-αλλαγές θέσης της ξύλινης πλατφόρμας και κατακόρυφη μετατόπιση της διάταξης ανιχνευτή φωτός επιτρέπουν τον έλεγχο του σημείου πρόσπτωσης ώστε να βρεθεί ακριβώς στο κυκλικό άνοιγμα. Η ένδειξη του ανιχνευτή φωτός θα γίνει μέγιστη όταν το κέντρο της κηλίδας φωτός laser συμπέσει με το κέντρο του κυκλικού ανοίγματος.
7. Ο ταλαντωτής έχει ήδη τοποθετηθεί στη σωστή κατακόρυφη θέση. Μην αλλάξετε τη θέση του μαύρου περιστρεφόμενου διακόπτη ρύθμισης ύψους [14] (Εικ. 17).
8. Το πλαίσιο του ταλαντωτή μπορεί να κινείται οριζόντια μπρος και πίσω. Ο δείκτης θέσης υποδεικνύει τη θέση της διάταξης του ταλαντωτή στο χάρακα [10].
9. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, να διατηρήσετε το πλαστικό κάλυμα κατεβασμένο, για να προστατέψετε την επιφάνεια του νερού από ρεύματα αέρα.

Πειραματική διαδικασία
Μέρος C: Μέτρηση της γωνίας θ που σχηματίζεται από την ακτίνα laser και την επιφάνεια του νερού

 Εικόνα 18: Μέτρηση της γωνίας θ

Ερώτημα	Περιγραφή	Μονάδες
C1	Να μετακινήσετε τη διάταξη ανιχνευτή φωτός πάνω στις ράγες σε κατάλληλα επιλεγμένα βήματα. Στον Πίνακα C1 να καταγράψετε τη Χ-μετατόπιση της διάταξης και την αντίστοιχη Υ-μετατόπιση του σημείου πρόσπτωσης του laser. (Να επιλέξετε την κατάλληλη κλίμακα στον μετρητή φωτός.)	1.0
C2	Να σχεδιάσετε κατάλληλη γραφική παράσταση (με τίτλο Graph C1) από την κλίση της οποίας να βρείτε τη γωνία θ σε μοίρες.	0.6

Μέρος D: Προσδιορισμός της επιφανειακής τάσης σ του νερού

Από τη θεωρία της περίθλασης αποδεικνύεται ότι

$$k = \frac{2\pi}{\lambda_L} \sin\theta \sin\gamma \quad (1)$$

όπου, $k = 2\pi/\lambda_w$ ο κυματαριθμός των κυμάτων επιφανειακής τάσης,

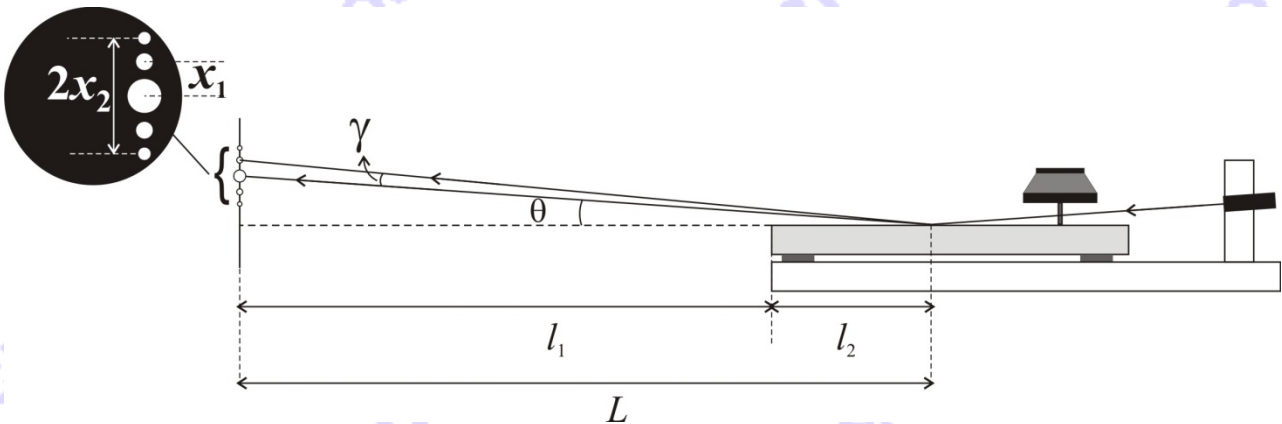
λ_w και λ_L τα μήκη κύματος των κυμάτων επιφανειακής τάσης και του φωτός laser αντίστοιχα.

Η γωνία γ αντιστοιχεί στη γωνιακή απόσταση μεταξύ του κεντρικού μεγίστου και του μεγίστου πρώτης τάξης (Εικ. 19).

Η συχνότητα ταλάντωσης (f) των κυμάτων σχετίζεται με τον κυματαριθμό k με τη σχέση

$$\omega = \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}} k^q \quad (2)$$

όπου, $\omega = 2\pi f$, ρ είναι η πυκνότητα του νερού και το q ακέραιος αριθμός.



Εικόνα 19: Σχηματικό διάγραμμα της πειραματικής διάταξης και ένθετη μεγέθυνση

1. Να τοποθετήσετε τη διάταξη ανιχνευτή φωτός [2] (χρησιμοποιώντας τη βίδα σύσφιξης στη βάση της οθόνης) στο τέλος της διαδρομής που ορίζουν οι ράγες (Εικ. 1). Να επιλέξετε την κατάλληλη κλίμακα στον ανιχνευτή φωτός.

Ερώτημα	Περιγραφή	Μονάδες
D1	Να μετρήσετε την απόσταση l_1 ανάμεσα στο κυκλικό άνοιγμα του ανιχνευτή φωτός και το εξωτερικό όριο του γεμάτου με νερό δίσκου. Θα πρέπει να δείτε μια γραμμή εκεί όπου το φως laser συναντά την επιφάνεια του νερού. Το μέσο της γραμμής αυτής είναι το σημείο πρόσπτωσης. Να μετρήσετε την απόσταση l_2 του σημείου αυτού από το όριο του δίσκου. Να υπολογίσετε το L και να το σημειώσετε στο φύλλο απαντήσεων.	0.3

2. Να τοποθετήσετε τον δείκτη θέσης του ταλαντωτή στα 7.0 cm του οριζώντιου χάρακα [10].
3. Να ρυθμίσετε τη συχνότητα του κύματος στα 60 Hz και ρυθμίστε το πλάτος του έτσι ώστε τα μέγιστα πρώτης και δεύτερης τάξης του μοτίβου (εικόνας) διάθλασης να είναι ευκρινώς ορατά (Εικ. 19 ένθετη μεγέθυνση).

Ερώτημα	Περιγραφή	Μονάδες
D2	Να μετρήσετε την απόσταση ανάμεσα στα μέγιστα δεύτερης τάξης που βρίσκονται πάνω και κάτω από το κεντρικό μέγιστο, δηλ. την απόσταση x_1 . Να καταγράψετε τις μετρήσεις σας στον Πίνακα D1. Να επαναλάβετε τη διαδικασία αυξάνοντας τη συχνότητα με κατάλληλα βήματα.	2.8
D3	Να επιλέξετε τις κατάλληλες μεταβλητές για εκείνη τη γραφική παράσταση, της οποίας η κλίση θα δώσει την τιμή του q . Να καταχωρήσετε τις τιμές των επιλεγμένων μεταβλητών στον Πίνακα D2. Να σχεδιάσετε τη γραφική παράσταση για να βρείτε το q (με τίτλο Graph D1). Να γράψετε την εξίσωση 2 με την κατάλληλη ακέραια τιμή του q .	0.9
D4	Από την εξίσωση 2, να επιλέξετε τις κατάλληλες μεταβλητές για εκείνη τη γραφική παράσταση, της οποίας η κλίση θα δώσει την τιμή του σ . Να καταχωρήσετε τις τιμές των επιλεγμένων μεταβλητών στον Πίνακα D3. Να σχεδιάσετε τη γραφική παράσταση για να προσδιορίσετε το σ (με τίτλο Graph D2). ($\rho=1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$).	1.2

Μέρος E: Προσδιορισμός της σταθεράς απόσβεσης δ και του ιξώδους του υγρού η

Τα κύματα επιφανειακής τάσης αποσβένονται λόγω του ιξώδους του νερού. Το πλάτος του κύματος, h , μειώνεται εκθετικά με την απόσταση s , μετρούμενη από τον ταλαντωτή,

$$h = h_0 e^{-\delta s} \quad (3)$$

όπου h_0 είναι το πλάτος στη θέση του ταλαντωτή και δ η σταθερά απόσβεσης.

Προκύπτει πειραματικά ότι το πλάτος h_0 εξαρτάται από την τάση (V_{rms}) που εφαρμόζεται στη διάταξη του ταλαντωτή με βάση τη σχέση,

$$h_0 \propto (V_{\text{rms}})^{0.4} \quad (4)$$

Η σχέση της σταθεράς απόσβεσης με το ιξώδες του υγρού είναι

$$\delta = \frac{8\pi\eta f}{3\sigma} \quad (5)$$

όπου η είναι το ιξώδες του υγρού.

1. Να τοποθετήσετε τον δείκτη θέσης του ταλαντωτή στα 8.0 cm.
2. Να ρυθμίσετε τη συχνότητα στα 100 Hz.
3. Να ρυθμίσετε τον ανιχνευτή φωτός χρησιμοποιώντας το διαστημόμετρο, έτσι ώστε το μέγιστο πρώτης τάξης της εικόνας διάθλασης να πέφτει στο κυκλικό άνοιγμα.
4. Να ρυθμίσετε το πλάτος του κύματος (V_{rms}) ώστε η ένδειξη στον μετρητή φωτός να είναι 100 με επιλεγμένη την κλίμακα A. Να καταγράψετε την τιμή της V_{rms} που αντιστοιχεί στην ένδειξη μέτρησης φωτός
5. Να απομακρύνετε τον ταλαντωτή από το σημείο πρόσπτωσης του φωτός laser σταδιακά με βήμα 0.5 cm, ρυθμίζοντας κάθε φορά την V_{rms} ώστε η ένδειξη στον μετρητή φωτός να είναι 100. Να καταγράψετε τις τιμές της V_{rms} .

Ερώτημα	Περιγραφή	Μονάδες
E1	Να καταγράψετε στον Πίνακα E1 όλες τις μετρήσεις.	1.9
E2	Να σχεδιάσετε την κατάλληλη γραφική παράσταση (με τίτλο Graph E1) και, από την κλίση της, να προσδιορίσετε τη σταθερά απόσβεσης.	1.0
E3	Να υπολογίσετε το ιξώδες η για το δείγμα νερού που χρησιμοποιήσατε.	0.3