

ΑΠΛΗ ΑΡΜΟΝΙΚΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ MULTILOG

A. ΣΤΟΧΟΙ

- Η πραγματοποίηση αρμονικής ταλάντωσης μικρού πλάτους με τη χρήση μάζας δεμένης σε ελατήριο.
- Η εφαρμογή θεωρητικών γνώσεων στον πειραματικό προσδιορισμό της περιόδου και άλλων στοιχείων της ταλάντωσης.
- Η εξοικείωση με τη χρήση λογισμικού, που δίνει επιλογές προχωρημένης επεξεργασίας, είτε μέσα από το πρόγραμμα του MultiLog, είτε μέσα από το Excel.
- Η εξοικείωση με τη χρήση των αισθητήρων απόστασης και δύναμης του MultiLog.
- Η κατανόηση και αξιοποίηση της απεικόνισης της σχέσης μεταξύ ποσοτήτων σε διάγραμμα.
- Η κατανόηση της σημασίας των εξιδανικεύσεων και προσεγγίσεων κατά την ποσοτική περιγραφή ενός φυσικού φαινομένου.
- Η κατανόηση της έννοιας του σφάλματος κατά τη μέτρηση.

B. ΘΕΜΑ

- Η καταγραφή των πειραματικών καμπύλων θέσης – χρόνου ($x - t$) και δύναμης – χρόνου ($F - t$).
- Ο υπολογισμός της περιόδου, της συχνότητας και του πλάτους της ταλάντωσης σώματος προσδεμένου στην ελεύθερη άκρη ελαστικού ελατηρίου, καθώς και ο υπολογισμός της διαφοράς φάσης μεταξύ δύναμης επαναφοράς και απομάκρυνσης του σώματος από τα γραφήματα $x - t$ και $F - t$.
- Ο υπολογισμός της σταθεράς k του ελατηρίου από την κλίση της ευθείας $F - x$: α) μέσω του MultiLog, β) με το νόμο του Hooke.
- Ο θεωρητικός υπολογισμός της περιόδου της ταλάντωσης.
- Η επιβεβαίωση της διατήρησης της ενέργειας στην απλή αρμονική ταλάντωση.

Γ. ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΣΥΣΚΕΥΕΣ

- Ορθοστάτης με αντίστοιχους συνδέσμους
- Ελατήριο
- Κύλινδρος μάζας ~ 1 kg
- Ζυγός
- DB-Lab ή ΣΣΛΑ (Σύστημα Σύγχρονης Λήψης και Απεικόνισης) με αισθητήρες θέσης και δύναμης

Δ. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ

- Για την πραγματοποίηση και κατανόηση της άσκησης χρειάζονται οι παρακάτω γνώσεις από το σχολικό βιβλίο Κατεύθυνσης της Γ' τάξης Γενικού Λυκείου :
 - ✓ Ενότητα 1.2 : Περιοδικά φαινόμενα
 - ✓ Ενότητα 1.3 : Απλή αρμονική ταλάντωση

Ε. ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΕΙΣ

- Στο ελεύθερο άκρο κατακόρυφου ελατηρίου δένουμε σώμα μάζας m , το οποίο ισορροπεί. Εκτρέπουμε το σώμα από τη θέση της ισορροπίας του, πάνω στην κατακόρυφη που διέρχεται από αυτό, και το αφήνουμε ελεύθερο. Το σώμα θα κάνει ελεύθερη αρμονική ταλάντωση (οι τριβές θεωρούνται αμελητέες).
- Η περίοδος T μιας ταλάντωσης μπορεί να υπολογιστεί αν γνωρίζουμε τον χρόνο $t_{ολ}$ που χρειάζεται για N επαναλήψεις από τη σχέση :

$$T = \frac{t_{ολ}}{N} \quad (1)$$

- Η συχνότητα f και η κυκλική συχνότητα ω των ταλαντώσεων υπολογίζονται από την περίοδο T με τις σχέσεις :

$$f = 1 / T \quad (2\alpha)$$

$$\omega = 2 \pi / T \quad (2\beta)$$

- Η περίοδος T της ταλάντωσης σχετίζεται με τη μάζα m του σώματος και τη σταθερά k του ελατηρίου μέσω της σχέσης :

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (3)$$

- Η διαφορά φάσης $\Delta\phi$ μεταξύ της δύναμης επαναφοράς και της απομάκρυνσης του σώματος υπολογίζεται από τη σχέση :

$$\Delta\phi = \frac{\Delta t}{T} \cdot 360^\circ \quad (4)$$

- Η κλίση α της ευθείας $F - x$ είναι ίση με τη σταθερά k του ελατηρίου :

$$\text{κλίση } \alpha = - \frac{F}{x} = k \quad (5)$$

- Η σταθερά k του ελατηρίου μπορεί επίσης να υπολογιστεί πειραματικά από το νόμο του Hooke, αρκεί το ελατήριο να βρεθεί στην περιοχή ελαστικότητας, δηλαδή να ξεκολλήσουν οι σπείρες του:

$$k = F / x \quad (6)$$

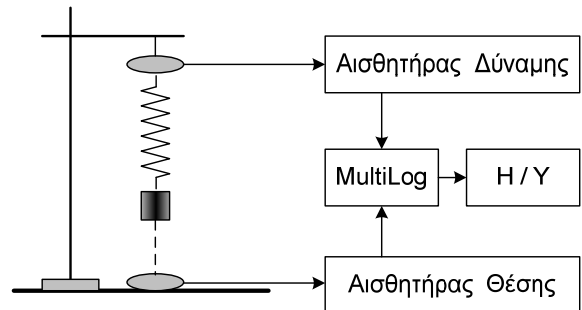
- Η μέγιστη ταχύτητα ταλάντωσης μπορεί να υπολογιστεί από τη διατήρηση της ενέργειας ταλάντωσης :

$$\frac{1}{2} k A^2 = \frac{1}{2} m v_{\max}^2 \quad \text{ή} \quad v_{\max} = A \cdot \sqrt{k/m} = A \cdot \omega \quad (7)$$

ΣΤ. ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Προετοιμασία της πειραματικής διάταξης :

1. Συναρμολογούμε την πειραματική διάταξη που εικονίζεται στο σχήμα 1. Κρεμάμε το ένα άκρο του ελατηρίου μέσω του αισθητήρα της δύναμης από σταθερό σημείο και στο ελεύθερο άκρο του ελατηρίου κρεμάμε τον κύλινδρο μάζας 1 kg.



Προετοιμασία του συστήματος ΣΣΛΑ DB-Lab :

2. Συνδέουμε τον καταγραφέα (σε κατάσταση OFF) στη σειριακή θύρα του H/Y ή σε θύρα USB μέσω του κατάλληλου μετατροπέα.
3. Συνδέουμε τους αισθητήρες θέσης και δύναμης στις δύο πρώτες θύρες του καταγραφέα.

ΠΡΟΣΟΧΗ :

- ✓ Η ελάχιστη απόσταση του ταλαντούμενου σώματος από τον αισθητήρα θέσης πρέπει να είναι 40 cm.
- ✓ Η μέγιστη δύναμη που ασκείται στον αισθητήρα δύναμης δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 50 N (ο κύλινδρος του 1 kg ασκεί δύναμη 9,81 N).
- ✓ Ο επιλογέας του αισθητήρα δύναμης στην περίπτωση μας πρέπει να είναι στη θέση «50N».

Βαθμονόμηση του αισθητήρα δύναμης (γίνεται μία φορά σε κάθε σύστημα DB-Lab) :

Για ακρίβεια στις μετρήσεις δύναμης εκτελούμε την παρακάτω βαθμονόμηση, η οποία αποθηκεύεται για πάντα. Αργότερα μπορούμε να επαναφέρουμε το σύστημα στην αρχική του κατάσταση.

4. Όταν το σύστημα ελατήριο – σώμα δεν είναι κρεμασμένο από τον αισθητήρα δύναμης, τότε θεωρούμε $m_1 = 0$ και καταχωρούμε την τιμή της στον ΠΙΝΑΚΑ βαθμονόμησης.
5. Υπολογίζουμε την πραγματική τιμή της δύναμης στον αισθητήρα που είναι $B_1 = 0$ και καταχωρούμε την τιμή του στον ΠΙΝΑΚΑ βαθμονόμησης.

6. Χωρίς να έχουμε κρεμάσει το σύστημα ελατήριο – σώμα από τον αισθητήρα δύναμης, θέτουμε τον καταγραφέα στη θέση ON. Αφού αυτορυθμιστεί, ενεργοποιούμε το λογισμικό του συστήματος ΣΣΛΑ (DBLAB) από το αντίστοιχο εικονίδιο. Επιλέγουμε από το μενού εντολών τα εξής :
- «Καταγραφέας» / «Πίνακας ελέγχου» και στο παράθυρο που ανοίγει θέτουμε :
 - «Είσοδος 1» : Διάστημα
 - «Είσοδος 2» : Force_50
 - Θέτουμε «Σημεία» : 10 και «Ρυθμός» : 1 / sec (δεν χρειάζονται μεγαλύτερες τιμές)
 - «Λήψη Δεδομένων»
- Στην οθόνη του H/Y αρχίζει να δημιουργείται αυτόματα το γράφημα $x - t$ ταυτόχρονα με το γράφημα $F - t$, που είναι και τα δύο οριζόντιες ευθείες διαφορετικού χρώματος.
7. Χρησιμοποιώντας τον δείκτη (αριστερό κλικ πάνω στο γράφημα $F - t$) παίρνουμε την τιμή F_1 που μετράει ο αισθητήρας για $B_1 = 0$. Καταχωρούμε την τιμή της στον ΠΙΝΑΚΑ βαθμονόμησης.
8. Ζυγίζουμε το σύστημα ελατήριο – σώμα και καταχωρούμε τη μάζα του m_2 στον ΠΙΝΑΚΑ βαθμονόμησης.
9. Υπολογίζουμε το βάρος $B_2 = m_2 g$ και καταχωρούμε την τιμή του στον ΠΙΝΑΚΑ βαθμονόμησης.
10. Αναρτούμε το σύστημα ελατήριο – σώμα από τον αισθητήρα δύναμης και αφού ισορροπήσει το σύστημα ξεκινάμε τη διαδικασία μέτρησης δύναμης, όπως προηγουμένως. Χρησιμοποιώντας τον δείκτη, παίρνουμε την τιμή F_2 που μετράει ο αισθητήρας για βάρος B_2 και την καταχωρούμε στον ΠΙΝΑΚΑ βαθμονόμησης.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ			
ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΔΥΝΑΜΗΣ	Μάζα συστήματος	Πραγματική τιμή Δύναμης	Τιμή Αισθητήρα Δύναμης
Χωρίς ελατήριο – σώμα	$m_1 = 0$	$B_1 = 0$	$F_1 = \dots\dots\dots$ N
Με ελατήριο – σώμα	$m_2 = \dots\dots\dots$ kg	$B_2 = \dots\dots\dots$ N	$F_2 = \dots\dots\dots$ N

11. Από το μενού εντολών επιλέγουμε :
- «Καταγραφέας» / «Βαθμονόμηση αισθητήρων» και στο παράθυρο που ανοίγει επιλέγουμε :
 - «Δύναμη (SFS)» και αντικαθιστούμε τις υπάρχουσες τιμές στα παράθυρα με τις τιμές του ΠΙΝΑΚΑ βαθμονόμησης, όπως παρακάτω :

	Πραγματική τιμή (N)	Αναγραφόμενη τιμή (N)
Τιμή # 1	B_1	F_1
Τιμή # 2	B_2	F_2

γ) Πατάμε «OK»

οπότε η βαθμονόμηση έχει τελειώσει και αποθηκεύεται στο σύστημα, μέχρι να το αλλάξουμε.

Επαναφορά του αισθητήρα δύναμης στην αρχική κατάσταση :

Αν θέλουμε να επαναφέρουμε το σύστημα στην αρχική του κατάσταση (κατάργηση της δικής μας βαθμονόμησης), τότε θέτουμε τον καταγραφέα στη θέση ON και αφού αυτορυθμιστεί, ενεργοποιούμε το λογισμικό του συστήματος ΣΣΛΑ (DB-Lab) από το αντίστοιχο εικονίδιο. Επιλέγουμε από το μενού εντολών τα εξής :

- «Καταγραφέας» / «Βαθμονόμηση αισθητήρων» και στο παράθυρο που ανοίγει :
- «Δύναμη (SFS)»
- «Επιλογή προκαθορισμένων τιμών»
- «OK»

Z. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

α. Λήψη μετρήσεων

1. Ζυγίζουμε τον κύλινδρο και καταχωρούμε τη μάζα του m στον ΠΙΝΑΚΑ 1.
2. Θέτουμε τον καταγραφέα στη θέση ON. Αφού αυτορυθμιστεί, ενεργοποιούμε το λογισμικό του συστήματος ΣΣΛΑ (DBLAB) από το αντίστοιχο εικονίδιο. Επιλέγουμε από το μενού εντολών τα εξής :
 - α) «Καταγραφέας» / «Πίνακας ελέγχου» και στο παράθυρο που ανοίγει θέτουμε :
 - β) «Είσοδος 1» : Διάστημα
 - γ) «Είσοδος 2» : Force_50
 - δ) «Σημεία» : 500
 - ε) «Ρυθμός» : 50 / sec (δηλ. η μελέτη του φαινομένου θα διαρκέσει 10 s)
 - στ) Κρατάμε ανοικτό το παράθυρο.

Γράφημα $x, F-t$ με το σύστημα σε ηρεμία και λήψη μετρήσεων :

3. Με το σύστημα ελατήριο – σώμα σε ηρεμία και στο ίδιο παράθυρο ενεργοποιούμε το πλήκτρο : «Λήψη Δεδομένων», οπότε αρχίζει να δημιουργείται αυτόματα στην οθόνη του H/Y το γράφημα $x-t$ ταυτόχρονα με το γράφημα $F-t$, που είναι και τα δύο οριζόντιες ευθείες.
4. Χρησιμοποιώντας τον δείκτη μετράω την αρχική θέση x_0 της μάζας σε σχέση με τον αισθητήρα θέσης και καταχωρούμε την τιμή της στον ΠΙΝΑΚΑ 1.
5. Χρησιμοποιώντας τον δείκτη μετράω την αρχική δύναμη F_0 πάνω στη μάζα και καταχωρούμε την τιμή της στον ΠΙΝΑΚΑ 1.
6. Κρατάμε ανοικτό το παράθυρο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 – ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ (το σύστημα σε ηρεμία)			
Μάζα κυλίνδρου (~ 1 kg)	m		kg
Αρχική θέση	x_0		m
Αρχική δύναμη	F_0		N

Αρχικό γράφημα $x, F-t$ με το σύστημα σε ταλάντωση :

7. Θέτουμε το σώμα σε ταλάντωση πλάτους 5-7 cm και στο ίδιο παράθυρο ενεργοποιούμε το πλήκτρο : «Λήψη Δεδομένων», οπότε αρχίζει να δημιουργείται αυτόματα στην οθόνη του H/Y το γράφημα $x-t$ ταυτόχρονα με το γράφημα $F-t$.

Εμφάνιση του γραφήματος $x-t$:

8. Επιλέγουμε από το μενού εντολών :
 - α) «Ανάλυση» / «Περισσότερα» και στο παράθυρο που ανοίγει θέτουμε :
 - β) «G1» / «Επιλέξτε» : «Διάστημα»
 - γ) «Συνάρτηση» : «Γραμμική»
 - δ) «C2» εισάγουμε στο παράθυρο την τιμή x_0 (από τον ΠΙΝΑΚΑ 1)
 - ε) «OK» και εμφανίζεται το γράφημα $x-t$ (το γράφημα τώρα αρχίζει από το μηδέν)

Εμφάνιση του γραφήματος $F-t$:

9. Επιλέγουμε από το μενού εντολών :
 - α) «Ανάλυση» / «Περισσότερα» και στο παράθυρο που ανοίγει θέτουμε :
 - β) «G1» / «Επιλέξτε» : «Force»
 - γ) «Συνάρτηση» : «Γραμμική»
 - δ) «C2» εισάγουμε στο παράθυρο την τιμή $-F_0$ (από τον ΠΙΝΑΚΑ 1)
 - ε) «OK» και εμφανίζεται το γράφημα $F-t$ (το γράφημα τώρα αρχίζει από το μηδέν)

Νέο γράφημα $x, F-t$:

10. Αντιγράφουμε το γράφημα $x-t$ πάνω στο γράφημα $F-t$ χρησιμοποιώντας από το μενού εντολών :

- «**Αντιγραφή**» (με επιλεγμένο το γράφημα $x-t$)
- «**Επικόλληση**» (με επιλεγμένο το γράφημα $F-t$) και εμφανίζεται ένα νέο γράφημα του F και του x (Εικόνα 2), από το οποίο μπορούμε να υπολογίσουμε διάφορα μεγέθη. (ή κατ' ευθείαν : «**Γραμμή εργαλείων**» / κουμπί «**Αντιγραφή**» και «**Επικόλληση**»).

Επιλογή μέρους του γραφήματος $x, F-t$ και μεγέθυσή του :

- Χρησιμοποιώντας τους δείκτες επιλέγω π.χ. 5 περιόδους
- Μεγεθύνουμε την επιλεγμένη περιοχή από το μενού εντολών «**Προβολή**» / «**Μεγέθυνση**» (ή κατ' ευθείαν : «**Γραμμή εργαλείων**» / κουμπί «**Μεγέθυνση**»).

Λήψη μετρήσεων από το μεγεθυμένο γράφημα $x, F-t$:

Με βάση το μεγεθυμένο πειραματικό γράφημα $x, F-t$ (που είναι και μεγεθυμένο) κάνουμε τις παρακάτω εργασίες :

- Χρησιμοποιώντας τους δείκτες στο πειραματικό γράφημα $x-t$ μετράμε για N επαναλήψεις τον χρόνο $t_{ολ}$ που διαρκούν και καταχωρούμε τις τιμές αυτές στον ΠΙΝΑΚΑ 2.
- Χρησιμοποιώντας τους δείκτες στο πειραματικό γράφημα $x-t$ μετράμε από κορυφή σε κορυφή το πλάτος $2 \cdot A$ της ταλάντωσης και καταχωρούμε την τιμή του στον ΠΙΝΑΚΑ 2.
- Χρησιμοποιώντας τους δείκτες στο πειραματικό γράφημα $x-t$ μετράμε τη χρονική διαφορά Δt μεταξύ μίας μέγιστης τιμής της απομάκρυνσης x του σώματος και της επόμενης μέγιστης τιμής της δύναμης επαναφοράς F και καταχωρούμε την τιμή της στον ΠΙΝΑΚΑ 2 (ο δεύτερος δείκτης εμφανίζεται στο ίδιο γράφημα που έχει τοποθετηθεί ο πρώτος, οπότε πρέπει να τοποθετηθεί στο κατάλληλο αντίστοιχο σημείο).
- Χρησιμοποιώντας τον δείκτη στο πειραματικό γράφημα $F-t$ μετράμε τη μέγιστη τιμή του μέτρου της δύναμης F_{max} , που ασκεί το ελατήριο στο σώμα, και καταχωρούμε την τιμή στον ΠΙΝΑΚΑ 2.

Γράφημα $F-x$ και κλίση της ευθείας :

17. Κάνουμε τη γραφική παράσταση $F-x$ επιλέγοντας :

- «**Προβολή**» / «**Απεικόνιση $Y(X)$** » / «**Επιλέξατε X** » και στο παράθυρο που ανοίγει επιλέγουμε :

- «**Διάστημα**» (ή κατ' ευθείαν «**Γραμμή εργαλείων**» / « **XY** »)

18. Επιλέγουμε από το μενού εντολών :

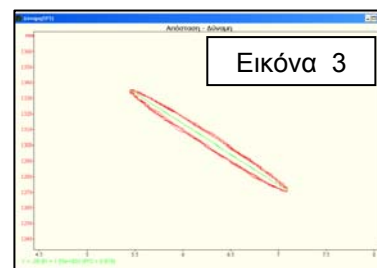
- «**Ανάλυση**» / «**Γραμμική Παλινδρόμηση**» και στο παράθυρο που ακολουθεί επιλέγουμε :

- «**Force**» / **OK**

οπότε εμφανίζονται (Εικόνα 3) :

✓ το γράφημα της ευθείας $F-x$ και

✓ η αντίστοιχη συνάρτηση της μορφής $y = a x + \beta$ κάτω από το γράφημα, η οποία διέρχεται από τα σημεία (F_0, x_0)



19. Μεταφέρουμε στον ΠΙΝΑΚΑ 2 την εξίσωση της ευθείας που αναγράφεται κάτω από το γράφημα $F-x$.

20. Διαβάζουμε την κλίση a της ευθείας από την εξίσωσή της και την καταχωρούμε στον ΠΙΝΑΚΑ 2.

Εφαρμογή του νόμου του Hooke (κλασσική μέθοδος εύρεσης του k του ελατηρίου) :

21. Κρεμάμε από το ελατήριο ένα μικρό σώμα ώστε να προκαλέσει μικρή αρχική επιμήκυνση στο ελατήριο (το ελατήριο τώρα βρίσκεται στην περιοχή Hooke).

22. Μετράμε την απόσταση x_1 μεταξύ σώματος – πάγκου εργασίας και καταχωρούμε την τιμή της στον ΠΙΝΑΚΑ 2.

23. Κρεμάμε επιπλέον τη μεγάλη μάζα $m \approx 1 \text{ kg}$, την οποία έχουμε καταχωρήσει στον ΠΙΝΑΚΑ 1.

24. Μετράμε τη νέα απόσταση x_2 μεταξύ σώματος – πάγκου εργασίας και καταχωρούμε την τιμή της στον ΠΙΝΑΚΑ 2, ώστε να υπολογίσουμε την επιμήκυνση του ελατηρίου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 – ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ (το σύστημα σε ταλάντωση)			
Αριθμός επαναλήψεων	N		επαν.
Ολικός χρόνος N επαναλήψεων	$t_{ολ}$		s
Πλάτος ταλάντωσης από κορυφή σε κορυφή	$2 \cdot A$		m
Χρόνος Δt μεταξύ μιας κορυφής της x και της επόμενης της F	Δt		s
Μέγιστη δύναμη	$F_{max(1)}$		N
Εξίσωση της ευθείας $y = \alpha x + \beta$			
Κλίση της ευθείας F – x	α		N/m
Αρχική θέση του άκρου του ελατηρίου με μικρή μάζα	x_1		m
Τελική θέση του άκρου του ελατηρίου με μικρή και μεγάλη μάζα	x_2		m

ΣΗΜΕΙΩΣΗ :

Για να κάνουμε μόνοι μας οποιαδήποτε επεξεργασία των μετρήσεων, μπορούμε να μεταφέρουμε τα πειραματικά δεδομένα από το λογισμικό του ΣΣΛΑ σε φύλλο Excel ως εξής :

- Επιλέγουμε «Αρχείο» / «Εξαγωγή».
- Αποθηκεύουμε τα δεδομένα σε αρχείο της μορφής (*.cvs).
- Ανοίγουμε το αρχείο (*.cvs) με το Excel και το αποθηκεύουμε σε μορφή (*.xls).

β. Επεξεργασία μετρήσεων

Κινηματική προσέγγιση :

- Υπολογίζουμε την περίοδο T_1 από τη σχέση (1) και καταχωρούμε την τιμή της στον ΠΙΝΑΚΑ 3.
- Υπολογίζουμε τη συχνότητα f και την κυκλική συχνότητα ω της ταλάντωσης από τις σχέσεις (2) χρησιμοποιώντας την περίοδο που υπολογίσαμε και καταχωρούμε τις τιμές στον ΠΙΝΑΚΑ 3.
- Υπολογίζουμε το πλάτος A της ταλάντωσης και καταχωρούμε την τιμή του στον ΠΙΝΑΚΑ 3.
- Υπολογίζουμε την μέγιστη ταχύτητα ταλάντωσης v_{max} και καταχωρούμε την τιμή της στον ΠΙΝΑΚΑ 3.
- Υπολογίζουμε την μέγιστη επιτάχυνση ταλάντωσης a_{max} και καταχωρούμε την τιμή της στον ΠΙΝΑΚΑ 3.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3 – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ				
Περίοδος	$T = t_{ολ} / N$	T_1		s
Συχνότητα	$f = 1 / T$	f		Hz
Κυκλική συχνότητα	$\omega = 2 \pi / T$	ω		r/s
Πλάτος ταλάντωσης	$A = (2 \cdot A) / 2$	A		m
Μέγιστη ταχύτητα ταλάντωσης	$v_{max} = A \cdot \omega$	v_{max}		m/s
Μέγιστη επιτάχυνση ταλάντωσης	$a_{max} = A \cdot \omega^2$	a_{max}		m/s ²

Δυναμική προσέγγιση :

- Υπολογίζουμε τη σταθερά k_1 του ελατηρίου από την κλίση α της ευθείας F – x και καταχωρούμε την τιμή της στον ΠΙΝΑΚΑ 4.

7. Υπολογίζουμε την περίοδο T_2 της ταλάντωσης από τη σχέση (3) με βάση τη μάζα m και την πειραματική τιμή του k που υπολογίσαμε και καταχωρούμε την τιμή της στον ΠΙΝΑΚΑ 4.
8. Υπολογίζουμε το σφάλμα σ_T % ανάμεσα στις δύο τιμές της περιόδου που υπολογίσαμε και καταχωρούμε την τιμή του στον ΠΙΝΑΚΑ 4 [$\sigma \% = (T_1 - T_2) / T_1 \cdot 100 \%$].
9. Υπολογίζουμε την επιπλέον δύναμη B που προκαλεί η μάζα $m = 1 \text{ kg}$ στο ελατήριο και καταχωρούμε την τιμή της στον ΠΙΝΑΚΑ 4 ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$).
10. Υπολογίζουμε τη σταθερά του ελατηρίου από το νόμο του Hooke μέσω της σχέσης (6) και καταχωρούμε την τιμή της k_2 στον ΠΙΝΑΚΑ 4.
11. Υπολογίζουμε το σφάλμα σ_k % ανάμεσα στις δύο τιμές της σταθεράς του ελατηρίου που υπολογίσαμε και καταχωρούμε την τιμή του στον ΠΙΝΑΚΑ 4 [$\sigma \% = (k_1 - k_2) / k_1 \cdot 100 \%$].
12. Υπολογίζουμε τη μέγιστη δύναμη $F_{\max(2)}$ και καταχωρούμε την τιμή της στον ΠΙΝΑΚΑ 4.
13. Υπολογίζουμε το σφάλμα σ_F % ανάμεσα στις δύο μέγιστες τιμές της δύναμης του ελατηρίου που μετρήσαμε στον ΠΙΝΑΚΑ 2 και υπολογίσαμε στον ΠΙΝΑΚΑ 4 και καταχωρούμε την τιμή του στον ΠΙΝΑΚΑ 4 [$\sigma \% = (|F_1 - F_2| / F_1) \cdot 100 \%$].
14. Υπολογίζουμε τη διαφορά φάσης μεταξύ της απομάκρυνσης και της δύναμης επαναφοράς, χρησιμοποιώντας την τιμή του Δt από τον ΠΙΝΑΚΑ 2 και καταχωρούμε την τιμή της $\Delta\phi$ στον ΠΙΝΑΚΑ 4.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4 – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ			
Σταθερά ελατηρίου (από κλίση ευθείας)	$k_1 = \alpha$	k_1	N/m
Περίοδος	$T = 2\pi \sqrt{m/k}$	T_2	s
Σφάλμα περιόδου	$\sigma = (T_1 - T_2) / T_1$	σ_T	%
Βάρος μάζας 1 kg	$B = m \cdot g$	B	N
Σταθερά ελατηρίου (από νόμο Hooke)	$k_2 = B / (x_1 - x_2)$	k_2	N/m
Σφάλμα σταθεράς ελατηρίου	$\sigma = (k_1 - k_2) / k_1$	σ_k	%
Μέγιστη δύναμη	$F_{\max} = m \cdot \alpha_{\max}$	$F_{\max(2)}$	N
Σφάλμα μεταξύ μέγιστων δυνάμεων 100%	$\sigma = (F_1 - F_2) / F_1$	$\sigma_{F_{\max}} \%$	%
Διαφορά φάσης μεταξύ x και F	$\Delta\phi = (\Delta t / T) \cdot 360^\circ$	$\Delta\phi$	($^\circ$)

Ενεργειακή προσέγγιση :

15. Υπολογίζουμε τη μέγιστη δυναμική ενέργεια U_{\max} της ταλάντωσης και καταχωρούμε την τιμή της στον ΠΙΝΑΚΑ 5.
16. Υπολογίζουμε τη μέγιστη κινητική ενέργεια K_{\max} της ταλάντωσης και καταχωρούμε την τιμή της στον ΠΙΝΑΚΑ 5.
17. Υπολογίζουμε το σχετικό σφάλμα σ_E % ανάμεσα στις δύο μέγιστες τιμές ενέργειας ταλάντωσης και καταχωρούμε την τιμή του στον ΠΙΝΑΚΑ 5 [$\sigma \% = (|U - K| / U) \cdot 100 \%$].

ΠΙΝΑΚΑΣ 5 – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ			
Μέγιστη Δυναμική ενέργεια ταλάντωσης :	$U_{\max} = (1/2) k_1 \cdot A^2$	U_{\max}	J
Μέγιστη Κινητική ενέργεια ταλάντωσης :	$K_{\max} = (1/2) m \cdot v_{\max}^2$	K_{\max}	J
Σφάλμα μεταξύ U_{\max} και K_{\max} : 100%	$\sigma = (U_{\max} - K_{\max} / U_{\max})$	$\sigma_E \%$	%

H. ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Που οφείλεται η διαφορά στις δύο τιμές της μέγιστης δύναμης F_{\max} ;
2. Που οφείλεται η διαφορά στις δύο τιμές της περιόδου T της ταλάντωσης ;
3. Που οφείλεται η διαφορά στις δύο τιμές της σταθεράς k του ελατηρίου ;
4. Που οφείλεται η διαφορά στις δύο τιμές μέγιστης ενέργειας κινητικής και δυναμικής ;