Κυματική και Κβαντική Φυσική
Άσκηση 23 - Μελέτη κανονικών τρόπων ταλάντωσης με αεροτροχιά
Σχολή ΗΜΜΥ ΕΜΠ

Λόζου Πηγή - el16431

Αριθμός καταλόγου: 185

Ομάδα: Α16

Συνεργάτες: Κωστούλα Βασιλική, Λιάκου Δάνάη

Υπεύθυνος άσκησης:

Ημερομηνία Διεξαγωγής: 30 Απριλίου 2018

Σκοπός

Σκοπός της άσκησης είναι η μελέτη κανονικών τρόπων ταλάντωσης.

Θέμα

Συγκεκριμένα το θέμα ήταν η μελέτη κανονικών τρόπων ταλάντωσης βαγονιών που κινούνται με μηδενική τριβή σε ευθεία αεροτροχιά συζευγμένα με διάφορα ελατήρια. Με τα αποτελέσματα των πειραμάτων υπολογίστηκαν οι πειραματικές σταθερές των ελατηρίων και συγκρίθηκαν με τις θεωρητικές.

Μέθοδος

Πείραμα Πρώτο

Τρία συζευγμένα βαγόνια γνωστής μάζας κινούνται με αμελητέα τριβή πάνω σε μια αεροτροχιά. Τα βαγόνια συνδέονται μεταξύ τους και με την αεροτροχιά με ελατήρια άγνωστης σταθεράς *k.* Το σύστημα διεγείρεται με 3 διαφορετικούς τρόπους σε κανονική ταλάντωση επιλέγοντας κατάλληλη απομάκρυνση. Οι διαφορετικοί τρόποι φαίνονται παρακάτω:

$\rightarrow \rightarrow \rightarrow$	$\rightarrow \bullet \leftarrow$	$\rightarrow \leftarrow \rightarrow$
$\leftarrow \leftarrow \leftarrow$	$\leftarrow \bullet \rightarrow$	$\leftarrow \rightarrow \leftarrow$
1ος ΚΤΤ	2ος ΚΤΤ	3ος ΚΤΤ

Η γωνιακή ταχύτητα για κάθε τρόπο ταλάντωσης είναι:

$$\omega_1 = \sqrt{2-\sqrt{2}}\sqrt{\frac{k}{M}}, \quad \omega_2 = \sqrt{2}\sqrt{\frac{k}{M}}, \quad \omega_3 = \sqrt{2+\sqrt{2}}\sqrt{\frac{k}{M}} \qquad (23.2)$$

Πείραμα Δεύτερο

Δυο συζευγμένα βαγόνια γνωστής μάζας κινούνται με αμελητέα τριβή πάνω σε μια αεροτροχιά. Τα βαγόνια συνδέονται μεταξύ τους με ελατήριο άγνωστης σταθεράς *k’* και κάθε βαγόνι συνδέεται με την αεροτροχιά με σκληρότερα ελατήρια άγνωστης σταθεράς *k.*
Το σύστημα διεγείρεται σε διακροτήματα με δύο διαφορετικούς τρόπους επιλέγοντας τις κατάλληλες αρχικές απομακρύνσεις.
Οι διαφορετικοί τρόποι φαίνονται παρακάτω:

• → 1ος ΚΤΤ

• • ← 2ος ΚΤΤ

Η γωνιακή ταχύτητα για κάθε τρόπο ταλάντωσης είναι:

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{k}{M}} \quad \text{και } \omega_2 = \sqrt{\frac{k+2k'}{M}} \qquad (23.4)$$

Πείραμα Τρίτο

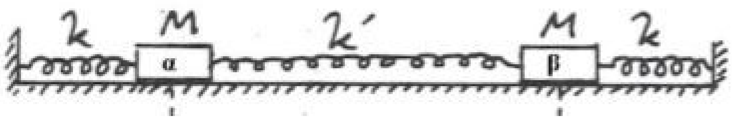
Ένα βαγόνι γνωστής μάζας κινείται με αμελητέα τριβή πάνω σε μια αεροτροχιά. Το βαγόνι συνδέεται με την αεροτροχιά με ελατήρια άγνωστης σταθεράς .
Το σύστημα διεγείρεται σε ταλάντωση με δύο διαφορετικά ελατήρια επιλέγοντας τις κατάλληλες αρχικές απομακρύνσεις

Πειραματική Διάταξη

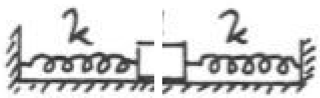
Σχηματικά η πειραματική διάταξη φαίνεται παρακάτω για κάθε πείραμα.

Πείραμα Πρώτο

Πείραμα Δεύτερο



Πείραμα Τρίτο



Διαδικασία

Τοποθετήθηκαν τα ελατήρια στα βαγόνια που χρειάστηκαν σε κάθε πείραμα και με ιδιαίτερη προσοχή αυτά τοποθετήθηκαν στην εν λειτουργία αεροτροχιά.
Έγιναν μετρήσεις με το χρόνομετρο για διαφόρους τρόπου ταλάντωσης.
Το σφάλμα του χρονομέτρου θεωρήθηκε αυτό της ανθώπινης αντίδρασης το οποίο είναι μεγαλύτερο από αυτό της μέτρησης του οργάνου.

Σφάλμα μέτρησης χρονομέτρου:		
δ10Τχρ	0.1	sec
δΤχρ	0.01	sec

Πείραμα Πρώτο

Οι μάζες του πειράματος και τα σφάλματά τους φαίνονται παρακάτω:

M1	M2	M3
kg	kg	kg
0.1846	0.1847	0.1842

Συστηματικό δΜ
kg
0.0001

Για κάθε τρόπο ταλάντωσης μετρήθηκαν 10 περίοδοι από τρεις φορές.
Οι μετρήσεις φαίνονται στον ΠΙΝΑΚΑ 1

ΠΙΝΑΚΑΣ 1			
Α\Α	10T1	10T2	10T3
	sec	*sec*	*sec*
1	25.88	14.16	10.75
2	26.03	14.06	10.56
3	25.78	14.13	10.71

Πείραμα Δεύτερο

Οι μάζες του πειράματος και τα σφάλματά τους φαίνονται παρακάτω:

M1	M2
kg	kg
0.1846	0.1847

Συστηματικό δΜ
kg
0.0001

Για κάθε τρόπο ταλάντωσης μετρήθηκαν 10 περίοδοι από τρεις φορές.
Οι μετρήσεις φαίνονται στον ΠΙΝΑΚΑ 2

ΠΙΝΑΚΑΣ 2			
Α\Α	10T1	10T2	8Τδ
	sec	*sec*	*sec*
1	19.81	15.00	52.56
2	19.91	15.22	52.32
3	19.94	15.22	52.50

Πείραμα Τρίτο

Η μάζα του πειράματος και το σφάλμα της φαίνονται παρακάτω:

M1
kg
0.1846

Συστηματικό δΜ
kg
0.0001

Για κάθε ελατήριο μετρήθηκαν 10 περίοδοι ταλάντωσης από τρεις φορές.
Οι μετρήσεις φαίνονται στον ΠΙΝΑΚΑ 3

ΠΙΝΑΚΑΣ 3		
Α\Α	10Τσκληρό	10Τμαλακό
	sec	*sec*
1	14.06	24.38
2	14.25	24.34
3	14.16	24.07

Ανάλυση αποτελεσμάτων

Υπολογισμός των σταθερών των ελατηρίων

1.Απο τις μετρήσεις του ΠΙΝΑΚΑ 3 υπολογίστε τις μέσες τιμές των 10Τσκληρό και 10Τμαλακό και από αυτές, τις μέσες περιόδους Τσκληρό και Τμαλακό των δύο ταλαντωτών που χρησιμοποιήσατε, και το σταστικό σφάλμα τους δΤσκληρό και δΤμαλακό, αντίστοιχα. Συγκρίνεται τα σφάλματα αυτά με το σφάλμα τους χρονομέτρου δΤχρ που εκτιμήσατε στο βήμα 9 της Παραγρ. 23.5.1, και χρησιμοποιήστε ως δΤσκληρό και δΤμαλακό, το μεγαλύτερο από τα δυο. Καταγράψτε τα αποτελέσματα με την μορφή: Τσκληρό=........ ± ……… και Τμαλακό=........ ± ………

Οι υπολογισμοί για τις μέσες τιμές φαίνονται παρακάτω:

Μέσο 10Τσκληρό	14.2	*sec*
Μέσο Τσκληρό	1.42	*sec*
Μέσο 10Τμαλακό	24.3	*sec*
Μέσο Τμαλακό	2.43	*sec*

Δεδομένου πως δΤχρ=0.01 sec και με τον νόμο διαδοσης σφαλμάτων έχουμε πως και για τα δύο ελατήρια το στατιστικό σφάλμα υπολογίζεται: $\delta T\sigma\tau = \sqrt{3(\frac{\delta T\chi\rho}{3})^2}$

Στατιστικά σφάλματα	
δΜέσου10Τ	0.06
δΜέσουΤ	0.006

Βλέπουμε λοιπόν πως το στατιστικό σφάλματα είναι μικρότερα από αυτά του χρόνου αντίδρασης, οπότε θα χρησιμοποιήσουμε ως σφάλμα δΤ=δΤχρ=0.01 sec.
Έχουμε τελικά:

$\overline{T}$σκληρό $= 1,42\ sec \pm 0,01\ sec$ και $\overline{T}$μαλακό $= 2,43\ sec \pm 0,01\ sec$

2.Από τις τιμές των Τσκληρό και Τμαλακό υπολογίστε τις αντίστοιχες μέσες γωνιακές συχνότητες ωσκληρό και ωμαλακό και τα σφάλματα τους δωσκληρό και δωμαλακό αντίστοιχα.

Η μέσες γωνιακές ταχύτητες υπολογίζονται από της σχέση: $\omega = \frac{2\pi}{T}$

Τα σφάλματα αυτών υπολογίζονται από τον νόμο διάδοσης σφαλμάτων: $\delta\omega = \frac{2\pi\delta T}{T^2}$

Μέσο ω σκληρό	4.44	*rad/sec*
δΜέσο ω σκληρό	0.03	*rad/sec*
Μέσο ω μαλακο	2.590	*rad/sec*
δΜέσο ω μαλακο	0.006	*rad/sec*

Έχουμε τελικά:

$\overline{\omega}$σκληρό $= 4,44\ r/sec \pm 0,03\ r/sec$ και $\overline{\omega}$μαλακό $= 2,590\ r/sec \pm 0,006\ r/sec$

3.Από την σχέση

$$\omega = \sqrt{\frac{2k}{M}} \qquad (23.11)$$

που δίνει την γωνιακή συχνότητα για αρμονικό ταλαντωτή συνδεδεμένο με δύο ελατήρια σταθεράς k και την τιμή της μάζας (Μα ή Μβ) του βαγονιού που χρησιμοποιήσατε κάθε φορά, βρείτε τις σταθερές k και k’ των σκληρών και των μαλακών ελατηρίων, αντίστοιχα. Υπολογίστε το στατιστικό σφάλμα δk και δk’ (λύστε ως προς k την έκφραση που δίνει την περίοδο και εφαρμόστε τον κανόνα της διάδοσης του σφάλματος) και γράψτε τα αποτελέσματα με την μορφή: kσκληρό=........ ± ……… kμαλακό=........ ± ………

Από την δοθείσα σχέση έχουμε : $k = \frac{M\omega^2}{2}$

Από τον νόμο διάδοσης σφαλμάτων έχουμε $\delta k = \sqrt{(\frac{\omega^2 \delta M}{2})^2 + (M\omega\delta\omega)^2}$

Οπότε οι σταθερές και τα σφάλματα υπολογίζονται:

k σκληρό	1.82	N/m^2
δk σκληρό	0.03	N/m^2
k μαλακό	0.619	N/m^2
δk μαλακό	0.003	N/m^2

Έχουμε τελικά:

kσκληρό $= 1,82\ N/m^2 \pm 0,03\ N/m^2$ και kμαλακό $= 0,618\ N/m^2 \pm 0,003\ N/m^2$

Υπολογισμός των συχνοτήτων των ΚΤΤ και της ωδ.

1.Χρησιμοποιήστε την τιμή που μετρήσετε για την k (σκληρό ελατήριο) και την γνωστή τιμή της μάζας Μ(που εδώ είναι η μέση τιμή των Μα, Μβ, Μγ) για να υπολογίσετε τις θεωρητικά αναμενόμενες τιμές των γωνιακών συχνοτήτων των τριών ΚΤΤ, ω1, ω2, ω3 (Εξ.23.3) και τα σφάλματά τους, για το σύστημα με τρεις ταλαντωτές.

Η μάζα Μ υπολογίζεται ως η μέση τιμή των Μα, Μβ, Μγ: $M = \frac{M\alpha+M\beta+M\gamma}{3}$

Και το σφάλμα αυτής από τον νόμο διάδοσης σφαλμάτων:

$$\delta M = \sqrt{\left(\frac{\delta M\alpha}{3}\right)^2 + \left(\frac{\delta M\beta}{3}\right)^2 + \left(\frac{\delta M\gamma}{3}\right)^2}$$

Οπότε έχουμε:

Μέσο Μ	0.1845	kg
δΜέσο Μ	0.0002	kg

$M = 0,1845\ kg \pm 0,0002\ kg$

Για σταθερά k χρησιμοποιούμε την τιμή που υπολογίστηκε για το σκληρό ελατήριο.

$k = 1,82\ N/m^2 \pm 0,03\ N/m^2$

Κάνοντας χρήση των εξισώσεων 23.3 υπολογίζονται οι θεωρητικά αναμενόμενες τιμές των γωνιακών συχνοτήτων. Τα σφάλματα αυτών υπολογίστηκαν από τον νόμο διάδοσης σφαλμάτων :

$$\delta\omega 1 = \sqrt{2-\sqrt{2}}\sqrt{\left(\frac{\delta k}{2\sqrt{kM}}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{k}\delta M}{2M\sqrt{M}}\right)^2}$$

$$\delta\omega 2 = \sqrt{2}\sqrt{\left(\frac{\delta k}{2\sqrt{kM}}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{k}\delta M}{2M\sqrt{M}}\right)^2}$$

$$\delta\omega 3 = \sqrt{2+\sqrt{2}}\sqrt{\left(\frac{\delta k}{2\sqrt{kM}}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{k}\delta M}{2M\sqrt{M}}\right)^2}$$

ω1-θεωρητικό	2.40	*rad/sec*
δω1-θεωρητικό	0.10	*rad/sec*
ω2-θεωρητικό	4.44	*rad/sec*
δω2-θεωρητικό	0.18	*rad/sec*
ω3-θεωρητικό	5.8	*rad/sec*
δω3-θεωρητικό	0.2	*rad/sec*

Έχουμε τελικά:

$$\omega 1 = 2,4\ r/sec \pm 0,1\ r/sec$$

$$\omega 2 = 4,44\ r/sec \pm 0,18\ r/sec$$

$$\omega 3 = 5,8\ r/sec \pm 0,2\ r/sec$$

2.Από τις μετρήσεις του Πίνακα Ι, βρείτε τις μέσες τιμές και τα σφάλματα των περιόδων των τριών ΚΤΤ. Από τις τιμές αυτές βρείτε τις αντίστοιχες συχνότητες και τα σφάλματα τους και συγκρίνετέ τις αναμενόμενες τιμές του βήματος 1.

Οι υπολογισμοί για τις μέσες τιμές των περιόδων φαίνονται παρακάτω:

Μέσο 10 T1	25.9	*sec*
Μέσο T1	2.59	*sec*
Μέσο 10 T2	14.1	*sec*
Μέσο T2	1.41	*sec*
Μέσο 10 T3	10.7	*sec*
Μέσο T3	1.07	*sec*

Δεδομένου πως δΤχρ=0.01 sec και με τον νόμο διάδοσης σφαλμάτων έχουμε πως και για τα δύο ελατήρια το στατιστικό σφάλμα υπολογίζεται: $\delta T\sigma\tau = \sqrt{3(\frac{\delta T\chi\rho}{3})^2}$

Στατιστικά σφάλματα	
δΜέσου10Τ	0.06
δΜέσουΤ	0.006

Βλέπουμε λοιπόν πως το στατιστικό σφάλματα είναι μικρότερα από αυτά του χρόνου αντίδρασης, οπότε θα χρησιμοποιήσουμε ως σφάλμα δΤ=δΤχρ=0.01 sec.
Έχουμε τελικά:

$$\overline{T1} = 2,59\ sec \pm 0,01\ sec$$
$$\overline{T2} = 1,41\ sec \pm 0,01\ sec$$
$$\overline{T3} = 1,07\ sec \pm 0,01\ sec$$

Οι αντίστοιχες μέσες συχνότητες υπολογίζονται μέσω τις σχέσης: $\overline{\omega} = \frac{2\pi}{\overline{T}}$

Το σφάλματων οποίων υπολογίζεται από τον νόμο διάδοσης σφαλμάτων : $\delta\overline{\omega} = \frac{2\pi\delta\overline{T}}{\overline{T}^2}$

Μέσο ω1	2.426	sec
δΜέσο ω1	0.009	sec
Μέσο ω2	4.45	sec
δΜέσο ω2	0.03	sec
Μέσο ω3	5.89	sec
δΜέσο ω3	0.06	sec

$$\overline{\omega1} = 2,426 r/sec \pm 0,009\ r/sec$$
$$\overline{\omega2} = 4,45\ r/sec \pm 0,03\ r/sec$$
$$\overline{\omega3} = 5,89\ r/sec \pm 0,06\ r/sec$$

Παρατηρούμε πως συμπεριλαμβανομένων των σφαλμάτων οι μέσες τιμές είναι πολύ κοντα στις θεωρητικά αναμενόμενες.

3.Επαναλάβεται τα βήματα 1 και 2 για το σύστημα των δύο ταλάντωντών, χρησιμοποιόντας τις τιμές του ΠΙΝΑΚΑ 2 και την Εξ (23.4) (με Μ ίσο με την μέση τιμή των Μα και Μβ).

Η μάζα Μ υπολογίζεται ως η μέση τιμή των Μα, Μβ, Μγ: $M = \frac{M\alpha+M\beta+M\gamma}{3}$

Και το σφάλμα αυτής από τον νόμο διάδοσης σφαλμάτων: $\delta M = \sqrt{\left(\frac{\delta M\alpha}{3}\right)^2 + \left(\frac{\delta M\beta}{3}\right)^2}$

Οπότε έχουμε:

Μέσο Μ	0.1847	kg
δΜέσο Μ	0.0002	kg

$$M = 0,1847\ kg \pm 0,0002\ kg$$

Για σταθερά k χρησιμοποιούμε την τιμή που υπολογίστηκε για το σκληρό ελατήριο.

$k = 1,82\ N/m^2 \pm 0,03\ N/m^2$

Για σταθερά k’ χρησιμοποιούμε την τιμή που υπολογίστηκε για το μαλακό ελατήριο.

$k' = 0,618\ N/m^2 \pm 0,003\ N/m^2$

Κάνοντας χρήση των εξισώσεων 23.4 υπολογίζονται οι θεωρητικά αναμενόμενες τιμές των γωνιακών συχνοτήτων. Τα σφάλματα αυτών υπολογίστηκαν από τον νόμο διάδοσης σφαλμάτων :

$$\delta\omega 1 = \sqrt{\left(\frac{\delta k}{2\sqrt{kM}}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{k}\delta M}{2M\sqrt{M}}\right)^2}$$

$$\delta\omega 2 = \sqrt{\left(\frac{\delta k}{2\sqrt{M(k+2k')}}\right)^2 + \left(\frac{2\delta k}{2\sqrt{M(k+2k')}}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{k+2k'}\delta M}{2M\sqrt{M}}\right)^2}$$

ω1-θεωρητικό	3.14	*rad/sec*
δω1-θεωρητικό	0.13	*rad/sec*
ω2-θεωρητικό	4.1	*rad/sec*
δω2-θεωρητικό	0.1	*rad/sec*

Έχουμε τελικά:

$\omega 1 = 3,14\ r/sec \pm 0,13\ r/sec$

$\omega 2 = 4,1\ r/sec \pm 0,1\ r/sec$

Οι υπολογισμοί για τις μέσες τιμές των περιόδων φαίνονται παρακάτω:

Μέσο 10 T1	19.9	*sec*
Μέσο T1	1.99	*sec*
Μέσο 10 T2	15.1	*sec*
Μέσο T2	1.51	*sec*

Δεδομένου πως δΤχρ=0.01 sec και με τον νόμο διάδοσης σφαλμάτων έχουμε πως και για τα δύο ελατήρια το στατιστικό σφάλμα υπολογίζεται: $\delta T\sigma\tau = \sqrt{2(\frac{\delta T\chi\rho}{2})^2}$

Στατιστικά σφάλματα:	
δΜέσου10Τ	0.07
δΜέσουΤ	0.007

Βλέπουμε λοιπόν πως το στατιστικό σφάλματα είναι μικρότερα από αυτά του χρόνου αντίδρασης, οπότε θα χρησιμοποιήσουμε ως σφάλμα δΤ=δΤχρ=0.01 sec.

Έχουμε τελικά:

$\overline{T1} = 1,99\ sec \pm 0,01\ sec$

$\overline{T2} = 1,51\ sec \pm 0,01\ sec$

Οι αντίστοιχες μέσες συχνότητες υπολογίζονται μέσω τις σχέσης: $\overline{\omega} = \frac{2\pi}{\overline{T}}$

Το σφάλματων οποίων υπολογίζεται από τον νόμο διάδοσης σφαλμάτων : $\delta\overline{\omega} = \frac{2\pi\delta\overline{T}}{\overline{T}^2}$

Μέσο ω1	3.159	sec
δΜέσο ω1	0.016	sec
Μέσο ω2	4.15	sec
δΜέσο ω2	0.03	sec

$\overline{\omega 1} = 2,426 r/sec \pm 0,009\ r/sec$

$\overline{\omega 2} = 4,45\ r/sec \pm 0,03\ r/sec$

$\overline{\omega 3} = 5,89\ r/sec \pm 0,06\ r/sec$

Παρατηρούμε πως συμπεριλαμβανομένων των σφαλμάτων οι μέσες τιμές είναι πολύ κοντα στις θεωρητικά αναμενόμενες.

4.Από την τελεταία στήλη του ΠΙΝΑΚΑ 2 προσδιορίστε την μέση περίοδο Τδ των μηχανικών διακροτμάτων, την αντίστοιχη γωνιακή συχνότητα τους , ωδ, και το σφάλμα της δωδ, και συγκρίνετέ την με τη θεωρητικά αναμενόμενη τιμή (Εξ. 23.9).

Η μάζα Μ υπολογίζεται ως η μέση τιμή των Μα, Μβ, Μγ: $M = \frac{M\alpha + M\beta + M\gamma}{3}$

Και το σφάλμα αυτής από τον νόμο διάδοσης σφαλμάτων: $\delta M = \sqrt{\left(\frac{\delta M\alpha}{3}\right)^2 + \left(\frac{\delta M\beta}{3}\right)^2}$

Οπότε έχουμε:

Μέσο Μ	0.1847	kg
δΜέσο Μ	0.0002	kg

$M = 0,1847\ kg \pm 0,0002\ kg$

Για σταθερά k χρησιμοποιούμε την τιμή που υπολογίστηκε για το σκληρό ελατήριο.

$k = 1,82\ N/m^2 \pm 0,03\ N/m^2$

Για σταθερά k’ χρησιμοποιούμε την τιμή που υπολογίστηκε για το μαλακό ελατήριο.

$k' = 0,618\ N/m^2 \pm 0,003\ N/m^2$

Κάνοντας χρήση των εξισώσεων 23.9 υπολογίζονται οι θεωρητικά αναμενόμενες τιμές των γωνιακών συχνοτήτων. Τα σφάλματα αυτών υπολογίστηκαν από τον νόμο διάδοσης σφαλμάτων :

$$\delta\omega\delta = \sqrt{(\delta\omega 1)^2 + (\delta\omega 2)^2}$$

ωδ θεωρητικό	0.9
δωδ θεωρητικό	0.2

Έχουμε τελικά:

$$\omega\delta = 0,9\ r/sec \pm 0,2\ r/sec$$

Οι υπολογισμοί για την μέση τιμη της περιόδου φαίνονται παρακάτω:

Μέσο 8Tδ	52.5	*sec*
Μέσο Tδ	6.6	*sec*

Δεδομένου πως δTχρ=0.01 sec και με τον νόμο διάδοσης σφαλμάτων έχουμε πως και για τα δύο ελατήρια το στατιστικό σφάλμα υπολογίζεται: $\delta T\sigma\tau = \sqrt{2(\frac{\delta T\chi\rho}{2})^2}$

Στατιστικά σφάλματα:	
δΜέσου8T	4.6
δΜέσουT	0.6

Βλέπουμε λοιπόν πως το στατιστικό σφάλματα είναι μεγαλύτερα από αυτά του χρόνου αντίδρασης, οπότε θα χρησιμοποιήσουμε ως σφάλμα δT=δTστ=0.6 sec.
Έχουμε τελικά:

$$\overline{T}\delta = 6,6\ sec \pm 0,6\ sec$$

Οι αντίστοιχη μέση συχνότητα υπολογίζεται μέσω τις σχέσης: $\overline{\omega\delta} = \frac{2\pi}{\overline{T}\delta}$

Τα σφάλματα των οποίων υπολογίζεται από τον νόμο διάδοσης σφαλμάτων : $\delta\overline{\omega\delta} = \frac{2\pi\delta\overline{T\delta}}{\overline{T}\delta^2}$

ωδ θεωρητικό	0.9
δωδ θεωρητικό	0.2

$$\overline{\omega\delta} = 0,9\ r/sec \pm 0,2\ r/sec$$

Παρατηρούμε πως συμπεριλαμβανομένων των σφαλμάτων οι μέσες τιμές συμπίπτουν με τις θεωρητικά αναμενόμενες.

5.Ποια η συχνότητα ανταλλαγής ενέργειας μεταξύ των δύο ταλαντωτών; (βλ. Και Σχ.23.4)

Σε χρονική διάρκεια Τδ το πλάτος κάθε ταλαντωτή κάνει μια πλήρη ταλάντωση. Επομένως και η περίοδος ανταλλαγής ενέργειας μεταξύ των δύο ταλαντωτών είναι $f\delta = \frac{1}{T\delta}$. Το σφάλμα της οποίας υπολογίζεται από τον νόμο διάδοσης σφαλμάτων: $\delta f = \frac{\delta T\delta}{T\delta^2}$.

Οπότε η συχνότητα ανταλλαγής της ενέργεια είναι τελικά:

$$f = 0,152\ Hz \pm 0,013\ Hz$$