



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ-ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΥΛΙΚΩΝ**

«ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΚΥΜΑΤΑ»

Εργασία Φυσικής 1^{ου} Εξαμήνου

Σοφία Τατσιοπούλου (mm21069)

Άγγελος Ταμβάκης (mm21068)

Υπεύθυνος Άσκησης:

Γιώργος Τσιγαρίδας

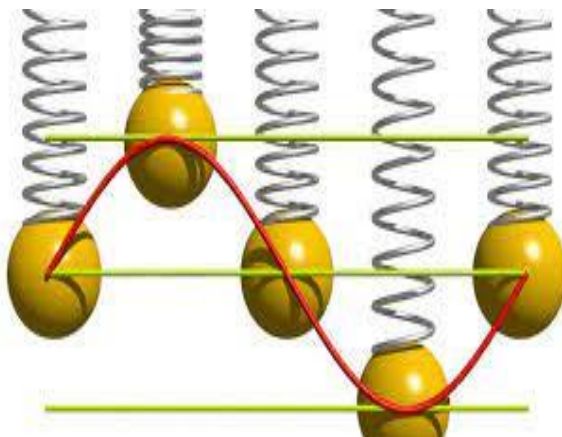
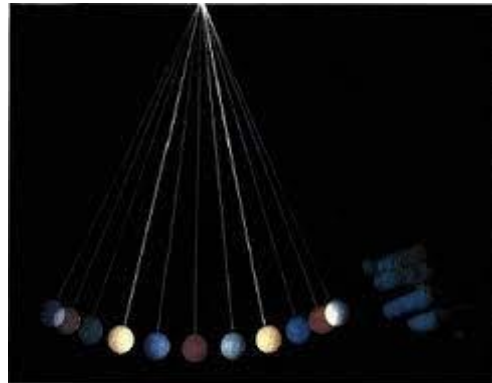
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	2
2. ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ	
I. ΑΠΛΗ ΑΡΜΟΝΙΚΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ.....	3
▪ ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ.....	3
▪ ΟΙ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΠΛΗΣ ΑΡΜΟΝΙΚΗΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗΣ.....	4
▪ Η ΔΥΝΑΜΗ ΣΤΗΝ ΑΠΛΗ ΑΡΜΟΝΙΚΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ.....	6
▪ Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗΝ ΑΠΛΗ ΑΡΜΟΝΙΚΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ.....	8
▪ Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΟ ΙΔΑΝΙΚΟ ΕΛΑΤΗΡΙΟ.....	10
II. ΕΞΑΝΑΓΚΑΣΜΕΝΕΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ.....	11
▪ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ.....	12
▪ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΞΑΝΑΓΚΑΣΜΕΝΩΝ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΩΝ.....	13
III. ΦΘΙΝΟΥΣΕΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ.....	14
IV. ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ.....	16
3. ΚΥΜΑΤΑ.....	18
I. ΕΙΔΗ ΚΥΜΑΤΩΝ.....	18
II. ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ.....	19
III. ΚΥΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	19
IV. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ.....	19
4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	22

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη Φυσική με τον όρο ταλάντωση χαρακτηρίζεται οποιαδήποτε περιοδική κίνηση ενός σώματος η οποία γίνεται παλινδρομικά γύρω από μια θέση ισορροπίας. Πρόκειται για την περιοδική μεταβολή ενός μεγέθους γύρω από μια τιμή. Οι ταλαντώσεις είναι πολλών ειδών: η απλή αρμονική ταλάντωση, η εξαναγκασμένη ταλάντωση, η φθίνουσα και η ηλεκτρική ταλάντωση. Βασικά μεγέθη των ταλαντώσεων είναι η συχνότητα f , η περίοδος T , το πλάτος A , η γωνιακή συχνότητα ω , καθώς επίσης η κινητική ενέργεια K και η δυναμική ενέργεια U .

Κύμα ονομάζεται μια διαταραχή που μεταδίδεται στο χώρο και το χρόνο. Υπάρχουν τα εγκάρσια, τα διαμήκη και τα επιφανειακά κύματα. Βασικά μεγέθη τους είναι η συχνότητα f , η περίοδος T , το πλάτος ταλάντωσης των σωματιδίων, η ταχύτητα U και το μήκος κύματος λ . Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να ορίσει τα παραπάνω είδη των ταλαντώσεων και των κυμάτων, συσχετίζοντάς τα με τα βασικά τους μεγέθη και συνδέοντάς τα με τις πρακτικές εφαρμογές τους στην καθημερινή ζωή. Για να επιτευχθεί ο παραπάνω σκοπός κρίθηκε απαραίτητη η παράθεση εξισώσεων, διαγραμμάτων και παραδειγμάτων που αφορούν τα είδη των ταλαντώσεων και των κυμάτων και φανερώνουν την εφαρμογή τους.



ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ

ΑΠΛΗ ΑΡΜΟΝΙΚΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- Περιοδικά Φαινόμενα ονομάζονται τα φαινόμενα που επαναλαμβάνονται κατά τον ίδιο τρόπο σε ίσα χρονικά διαστήματα. Τέτοια φαινόμενα είναι η κυκλική ομαλή κίνηση, η κίνηση του εκκρεμούς κ.ά. Κάθε περιοδικό φαινόμενο χαρακτηρίζεται από την Περίοδο (T), τη Συχνότητα (f) και την γωνιακή συχνότητα (ω)
 - Περίοδος (T) ενός περιοδικού φαινομένου είναι ο χρόνος που απαιτείται για μια πλήρη επανάληψη του φαινομένου. Αν σε χρόνο t γίνονται N επαναλήψεις του φαινομένου, τότε η περίοδος είναι ίση με το πηλίκο : $T = t / N$ (1) Μονάδα μέτρησης της περιόδου είναι το 1 s.
 - Συχνότητα (f) ενός περιοδικού φαινομένου είναι το πηλίκο του αριθμού N των επαναλήψεων του φαινομένου σε ορισμένο χρόνο t , προς το χρόνο t . Δηλαδή : $f = N / t$ (2) Μονάδα μέτρησης της συχνότητας είναι το 1 Hz ή 1 s^{-1} Από τον ορισμό τους, τα μεγέθη περίοδος και συχνότητα είναι αντίστροφα και συνδέονται με την σχέση : $f = 1 / T$ (3)
 - Η γωνιακή συχνότητα (ω) είναι ένα μέγεθος που αναφέρεται σε όλα τα περιοδικά φαινόμενα και δίνεται από την σχέση : $\omega = 2\pi f$ (4). Η γωνιακή συχνότητα είναι ίση με το μέτρο της γωνιακής ταχύτητας στην ομαλή κυκλική κίνηση και εκφράζει τον αριθμό των επαναλήψεων ενός φαινομένου σε χρόνο $2\pi \text{ sec}$. Μονάδα μέτρησης της συχνότητας είναι το 1 rad/sec .
- Οι εξισώσεις της Απλής Αρμονικής Ταλάντωσης
Ταλάντωση ονομάζεται μια παλινδρομική περιοδική κίνηση.
Γραμμική ταλάντωση ονομάζεται η ταλάντωση που εξελίσσεται πάνω σε ευθεία τροχιά. Μια ειδική περίπτωση γραμμικής ταλάντωσης είναι η απλή αρμονική ταλάντωση (α.α.τ.).

Έστω ένα σώμα που κινείται παλινδρομικά πάνω σε ένα άξονα γύρω από την αρχή Ο του άξονα, που είναι το μέσον της τροχιάς του. Αν η απομάκρυνση x του σώματος από το σημείο Ο είναι αρμονική

3

συνάρτηση του χρόνου t , δηλαδή δίνεται από την σχέση :

$$x = A\eta\mu(\omega t + \phi_0) \quad (5)$$

τότε η κίνηση του σώματος λέγεται απλή αρμονική ταλάντωση. Το A είναι η μέγιστη απομάκρυνση, δηλαδή η μέγιστη απόσταση από το σημείο Ο στην οποία φτάνει το σώμα και ονομάζεται **πλάτος της ταλάντωσης**. Η γωνία $\phi = \omega t + \phi_0$ που η τιμή της καθορίζει και την τιμή της απομάκρυνσης x του σώματος την χρονική στιγμή t ονομάζεται **φάση της ταλάντωσης**. Το σημείο Ο είναι η θέση ισορροπίας της ταλάντωσης. Η φάση αυξάνεται συνεχώς με τον χρόνο και σε χρονικό διάστημα $\Delta t = T$ αντιστοιχεί σε αύξηση της φάσης κατά $\Delta\phi = 2\pi$ rad Η ποσότητα ϕ_0 είναι η φάση της ταλάντωσης για την χρονική στιγμή $t = 0$ και για αυτό ονομάζεται **αρχική φάση**. Ουσιαστικά η αρχική φάση καθορίζεται από τις "αρχικές συνθήκες" της απλής αρμονικής ταλάντωσης (θέση, ταχύτητα, επιτάχυνση).

Για την αρχική φάση ισχύει : $0 \leq \phi_0 < 2\pi$

Η ταχύτητα του σώματος κάθε χρονική στιγμή δίνεται από την σχέση :

$$v = dx/dt = v_{\max}\eta\sigma\upsilon\nu(\omega t + \phi_0) \quad (6)$$

όπου $v_{\max} = \omega A$ η μέγιστη τιμή του μέτρου της ταχύτητας του σώματος. Το σώμα έχει μέγιστη ταχύτητα, όταν διέρχεται από την θέση ισορροπίας Ο ($x = 0$). Η επιτάχυνση του σώματος κάθε χρονική στιγμή δίνεται από την σχέση :

$$a = dv/dt = -a_{\max}\eta\mu(\omega t + \phi_0) \quad (7)$$

όπου $a_{\max} = \omega^2 A$ η μέγιστη τιμή του μέτρου της επιτάχυνσης του σώματος. Το σώμα έχει μέγιστη επιτάχυνση, όταν βρίσκεται στις ακραίες θέσης της ταλάντωσης ($x = \pm A$).

Οι χρονικές εξισώσεις (5),(6),(7) απομάκρυνσης, ταχύτητας και επιτάχυνσης είναι η "ταυτότητα" της κάθε κίνησης στην μηχανική και συγκροτούν την Κινηματική προσέγγιση του προβλήματος. Για την περίπτωση της απλής αρμονικής ταλάντωσης οι εξισώσεις αυτές είναι περιοδικές συναρτήσεις του χρόνου.

Σχέση στιγμιαίας επιτάχυνσης-απομάκρυνσης

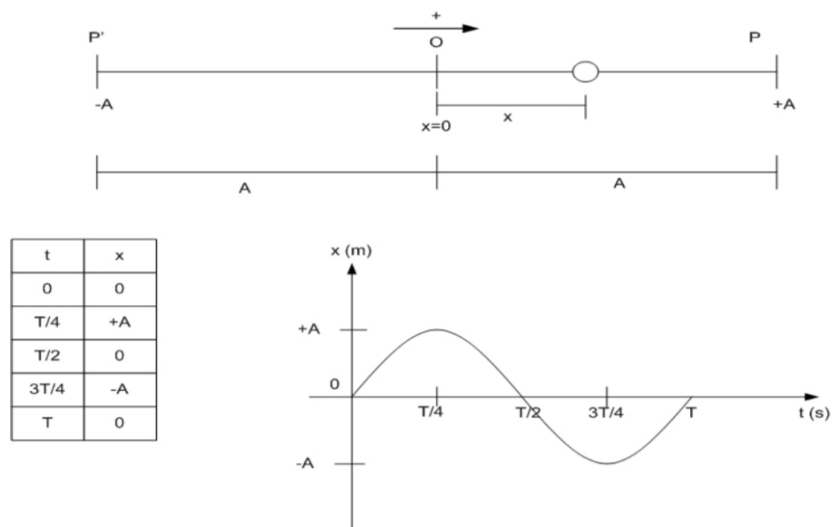
$$a = -a_{\max} \sin(\omega t) = -\omega^2 A \sin(\omega t) = -\omega^2 x$$

4

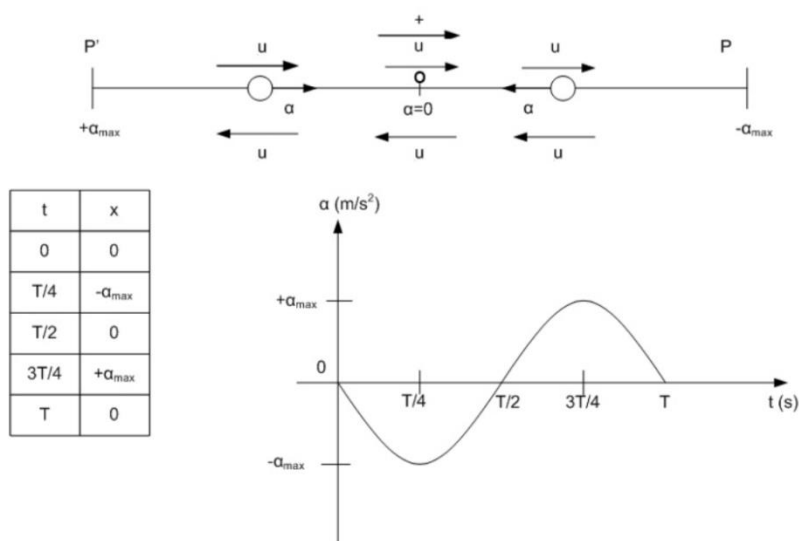
Σχέση στιγμιαίας ταχύτητας-απομάκρυνση

$$v = \pm \omega \sqrt{A^2 - x^2}$$

■ Γραφικές παραστάσεις

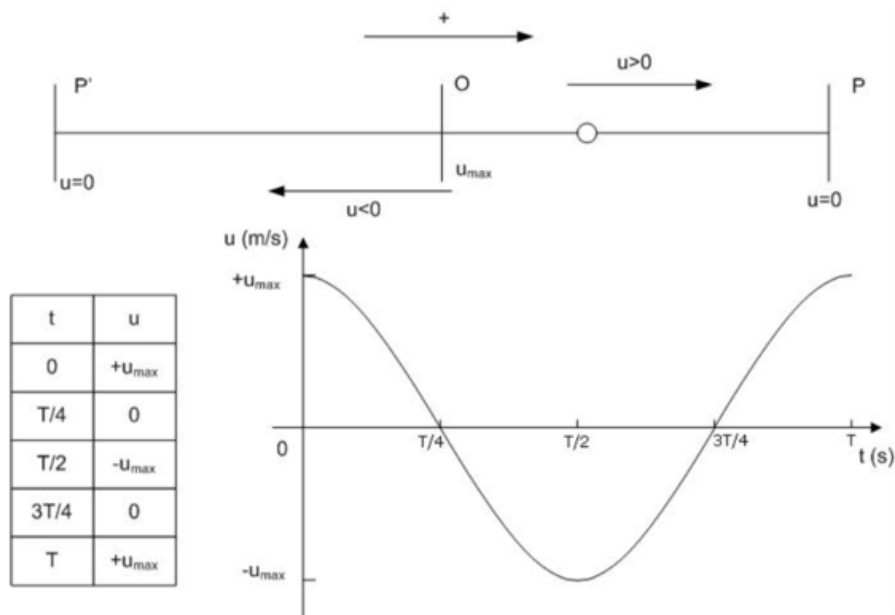


Σχήμα 1. Διάγραμμα Απομάκρυνσης-Χρόνου



5

Σχήμα2. Διάγραμμα Επιτάχυνσης-Χρόνου



Σχήμα3. Διάγραμμα Ταχύτητας-Χρόνου

■ Η Δύναμη στην Απλή Αρμονική Ταλάντωση

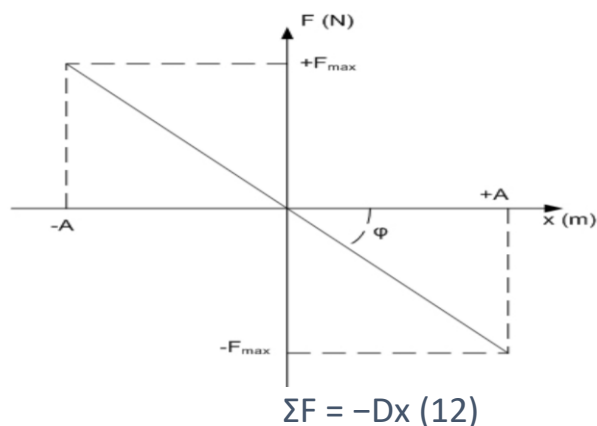
Όταν ένα σώμα μάζας m εκτελεί απλή αρμονική ταλάντωση, τότε σε μια τυχαία θέση της τροχιάς του έχει επιτάχυνση a , ανεξάρτητα από την κατεύθυνση της κίνησης του. Η συνολική δύναμή που δέχεται το σώμα και είναι υπεύθυνη για την επιτάχυνση του δίνεται από τον θεμελιώδη Νόμο της μηχανικής :

$$\Sigma F = ma$$

Λόγω της (8)

$$\Sigma F = -m\omega^2 x$$

Αν συμβολίσουμε $D = m\omega^2$, η παραπάνω σχέση γράφεται:



Η σταθερά αναλογίας D λέγεται σταθερά επαναφοράς της ταλάντωσης και η τιμή της εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του ταλαντούμενου συστήματος. Από την σχέση (12) φαίνεται ότι όταν ένα σώμα εκτελεί απλή αρμονική ταλάντωση, η συνολική δύναμη που δέχεται:

- έχει ως φορέα την ευθεία πάνω στην οποία γίνεται η ταλάντωση του σώματος
- είναι ανάλογη με την απομάκρυνση του σώματος από την Θέση Ισορροπίας O
- έχει αντίθετη φορά από την απομάκρυνση του σώματος και πάντοτε προς την θέση ισορροπίας
- στην θέση ισορροπίας $\Sigma F = 0$

Η σχέση (12) ονομάζεται και **Δύναμη Επαναφοράς**, αφού δρα έτσι ώστε να επιταχύνει το σώμα πάντα προς την θέση ισορροπίας.

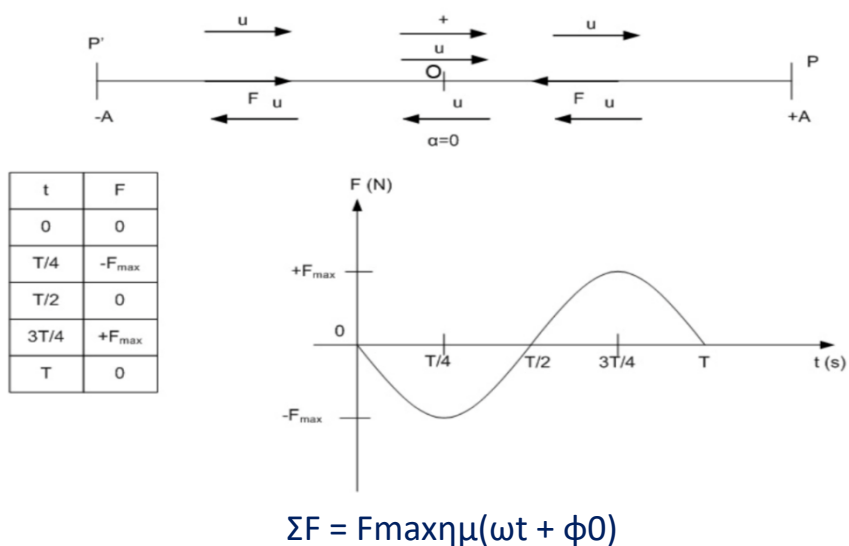
Σχέση Περιόδου- σταθεράς επαναφοράς

Από την σχέση: $D = m\omega^2$ και $\omega = 2\pi/T$

Άρα:
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{D}}$$

Από την τελευταία σχέση προκύπτει ότι η περίοδος T δεν εξαρτάται από το πλάτος A της ταλάντωσης

Η δύναμη επαναφοράς σαν συνάρτηση του χρόνου



Άρα:

$$F_{\max} = DA$$

■ Η ενέργεια στην Απλή Αρμονική Ταλάντωση

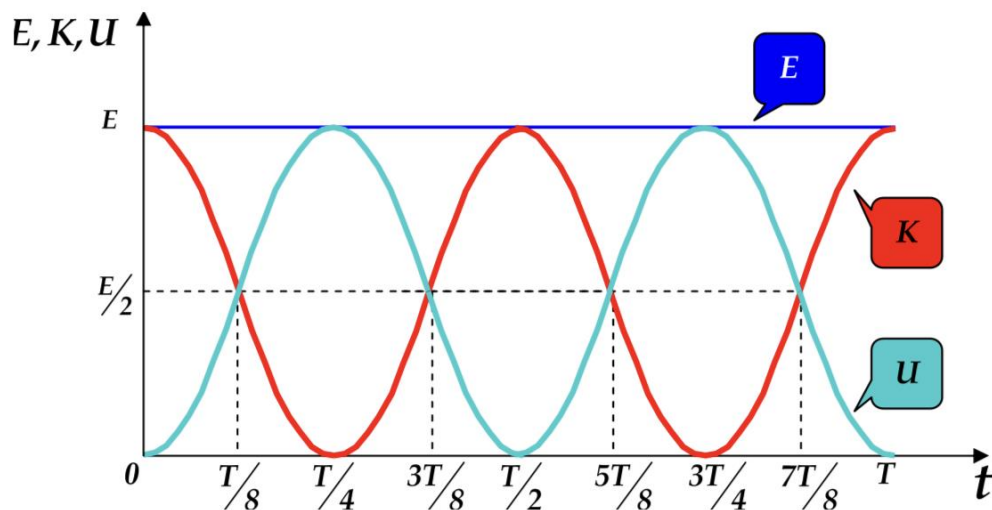
Η ενέργεια της ταλάντωσης υπολογίζεται από τον τύπο :

$$E = \frac{1}{2}DA^2$$

Η ενέργεια μιας απλής αρμονικής ταλάντωσης είναι σταθερή και ανάλογη με το τετράγωνο του πλάτους της.

Η κινητική και η Δυναμική ενέργεια υπολογίζονται αντίστοιχα από τις σχέσεις :

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \text{ και } U = \frac{1}{2}Dx^2$$



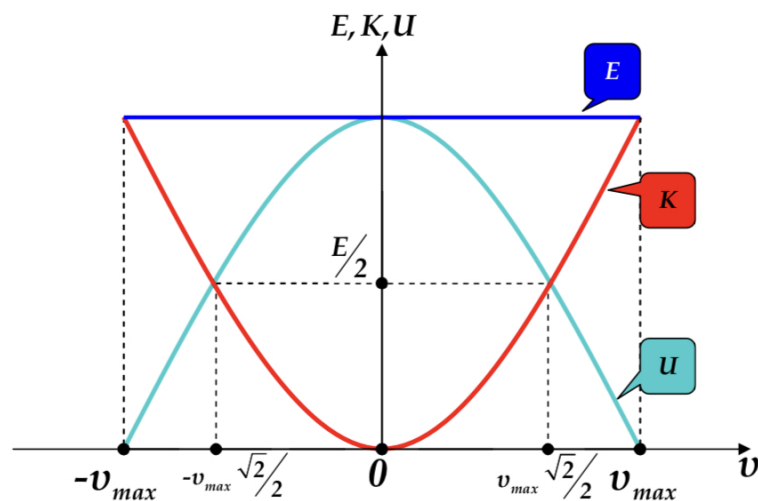
Η ολική ενέργεια E στην απλή αρμονική ταλάντωση παραμένει σταθερή και είναι κάθε στιγμή ίση με το άθροισμα της δυναμικής ενέργειας ταλάντωσης και της κινητικής ενέργειας. Δηλαδή :

$$K + U = E$$

Από τα παραπάνω διαπιστώνουμε ότι :

- Στην θέση ισορροπίας ($x = 0$) η Δυναμική ενέργεια είναι μηδέν, ενώ η Κινητική ενέργεια είναι μέγιστη και ίση με την Ενέργεια ταλάντωσης. $E = K_{\max} = \frac{1}{2}mv^2_{\max}$
- Στις ακραίες θέσεις ($x = \pm A$) η Κινητική Ενέργεια είναι μηδέν, ενώ η Δυναμική ενέργεια είναι μέγιστη και ίση με την ενέργεια της ταλάντωσης $E = U_{\max} = \frac{1}{2}DA^2$

- Σε οποιαδήποτε ενδιάμεση θέση(εκτός από την Θ.Ι.) το σύστημα έχει και Κινητική και Δυναμική Ενέργεια και σε κάθε χρονική στιγμή ισχύει η Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας.



Η γραφική παράσταση της Δυναμικής Ενέργειας και της Κινητικής Ενέργειας σε κοινό διάγραμμα.

Η ενέργεια στο Ιδανικό Ελατήριο

Στην περίπτωση του ιδανικού ελατηρίου που αναλύσαμε παραπάνω μπορούμε να υπολογίσουμε την Δυναμική Ενέργεια του ελατηρίου, η οποία χαρακτηρίζεται ως δυναμική ενέργεια παραμόρφωσης. Υπολογίζεται από την σχέση :

$$U_{ελ} = \frac{1}{2}k(\Delta l)^2$$

όπου βέβαια k η σταθερά του ελατηρίου και Δl η επιμήκυνση ή συμπίεση του ελατηρίου από το φυσικό του μήκος. Προσοχή η Δυναμική Ενέργεια Ταλάντωσης συμπίπτει με την Ενέργεια του Ελατηρίου μόνο στην περίπτωση του οριζοντίου ελατηρίου. Το έργο της Δύναμης του Ελατηρίου μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση :

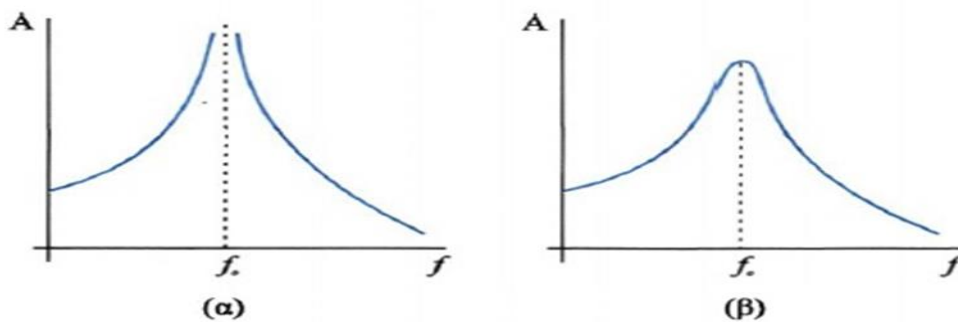
$$W_{F_{ελ}} = U_{(αρχ)}_{ελ} - U_{(τελ)}_{ελ}$$

ΕΞΑΝΑΓΚΑΣΜΕΝΕΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ

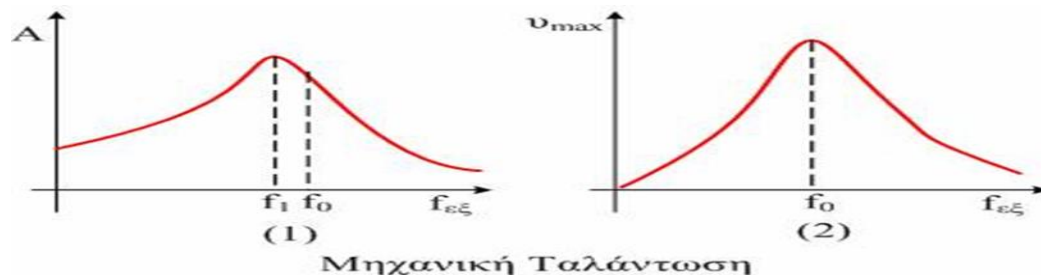
Εξαναγκασμένη ταλάντωση: ταλάντωση η οποία προκαλείται από μία εξωτερική δύναμη, η οποία παίζει το ρόλο της διεγέρσης (διεγέρτης). Όλα τα σώματα γύρω μας όσο «ακλόνητα» και αν φαίνονται οπτικά, στην πραγματικότητα κάνουν μια μικρή κίνηση. Η κίνηση αυτή είναι τόσο μικρή, που δεν αποκαλείται ταλάντωση, αλλά μικρή δόνηση, και για κάθε αντικείμενο/σώμα, η συχνότητα στην οποία θα συμβεί αυτό είναι συγκεκριμένη, ανάλογα με το πώς θα επιδράσουμε και εμείς σε αυτό. Αυτή η συχνότητα είναι η ιδιοσυχνότητα.

Το πλάτος της εξαναγκασμένης ταλάντωσης εξαρτάται από τη συχνότητα f του διεγέρτη. Συγκεκριμένα, αν μεταβληθεί η συχνότητα f του διεγέρτη μεταβάλλεται και το πλάτος της εκτελούμενης ταλάντωσης. Οι τιμές του πλάτους είναι γενικά μικρές, εκτός αν η συχνότητα πλησιάζει την ιδιοσυχνότητα όπου το πλάτος παίρνει μεγάλες τιμές και γίνεται μέγιστο στην περίπτωση που $f=f_0$. Τότε λέμε ότι έχουμε **συντονισμό**.

Στην ιδανική περίπτωση που η ταλάντωση δεν έχει απώλειες ενέργειας είναι $f=f_0$, το πλάτος της εξαναγκασμένης ταλάντωσης γίνεται άπειρο.



Επιπλέον, το πλάτος της ταχύτητας γίνεται μέγιστο για συχνότητα ακριβώς ίση με την ιδιοσυχνότητα f_0



ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

$$\text{Έστω } U_{\max}/K_{\max} = (\frac{1}{2} kA^2)/(\frac{1}{2} m\omega_{\max}^2) = \dots = 4\pi^2 f_0^2 / 4\pi^2 f_1^2 = f_0^2 / f^2 \quad (1)$$

Διακρίνουμε τρεις περιπτώσεις:

A) Αν $f_{\text{διδ}} = f_1$ όπου η συχνότητα f_1 είναι μικρότερη από την ιδιοσυχνότητα f_0 , η σχέση (1) δίνει:

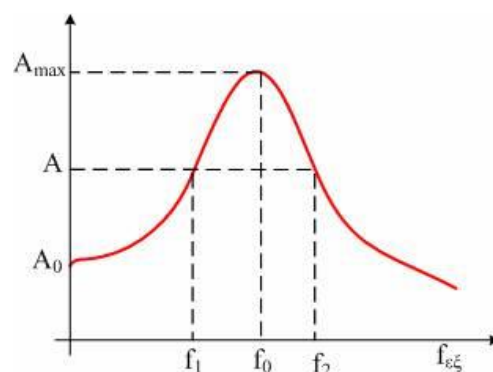
$$U_{\max}/K_{\max} = f_0^2 / f^2 > 1 \text{ ή } U_{\max} > K_{\max}$$

B) Αν $f_{\text{διδ}} = f_2$ όπου η συχνότητα f_2 είναι μεγαλύτερη από την ιδιοσυχνότητα f_0 , η σχέση (1) δίνει:

$$U_{\max}/K_{\max} = f_0^2 / f^2 < 1 \text{ ή } U_{\max} < K_{\max}$$

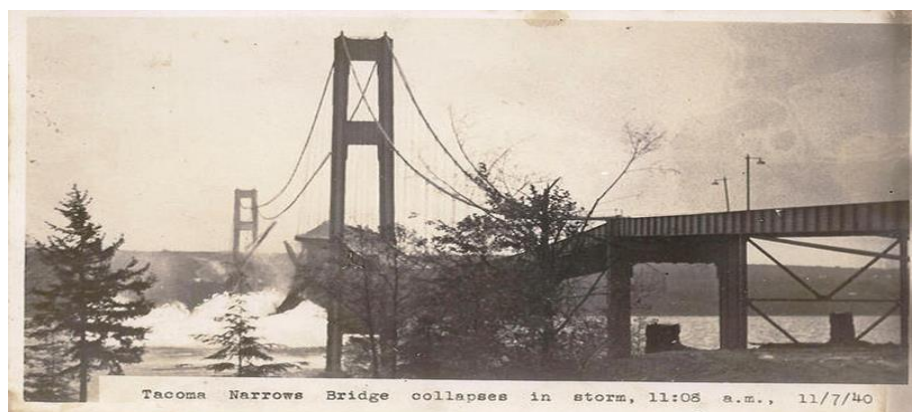
Γ) Αν $f_{\text{διδ}} = f_0$ όπου f_0 ιδιοσυχνότητα, η σχέση (1) δίνει:

$$U_{\max}/K_{\max} = f_0^2 / f^2 = 1 \text{ ή } U_{\max} = K_{\max}$$



Ιστορικό Παράδειγμα:

Η Tacoma Narrows Bridge κατασκευάστηκε στην Ουάσινγκτον των ΗΠΑ το 1940, όπου πλήττονταν από ισχυρούς ανέμους που οδηγούσαν σε ταλάντωση της γέφυρας. Το 1940, μόλις 4 μήνες μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής της, φύσηξε ένας ισχυρός άνεμος σε συχνότητα παραπλήσια της ιδιοσυχνότητας της γέφυρας. Με αποτέλεσμα η γέφυρα να ταλαντωθεί με μέγιστο πλάτος και έπειτα να καταστραφεί.

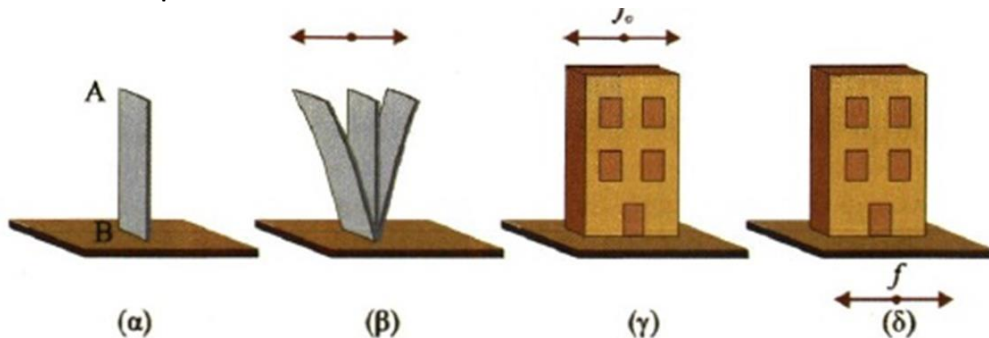


ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΞΑΝΑΓΚΑΣΜΕΝΩΝ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΩΝ

- Το σπάσιμο του γυαλιού, η επίδραση του σεισμού και του αέρα στις γέφυρες και τα κτίρια και η καταπολέμηση θανατηφόρων ιών, αποτελούν ορισμένες πρακτικές εφαρμογές του συντονισμού. Η κυριότερη εφαρμογή, στη σύγχρονη κοινωνία, σχετίζεται με την αντισεισμική δόμηση των κτιρίων και γενικότερα των κατασκευών.



- Το κτίριο συμπεριφέρεται όπως το μεταλλικό έλασμα. Όταν ταλαντώνεται το έδαφος (σεισμός), το κτίριο κάνει εξαναγκασμένη ταλάντωση.



- Μια γέφυρα συμπεριφέρεται όπως η χορδή. Μια ομάδα ανθρώπων που κινείται πάνω στη γέφυρα με βηματισμό μπορεί να την κάνει να ταλαντώνεται με μεγάλο πλάτος.



ΦΘΙΝΟΥΣΕΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ

Οι ταλαντώσεις των οποίων το πλάτος μειώνεται με τον χρόνο και τελικά μηδενίζεται λέγονται Φθίνουσες ή Αποσβεννύμενες. Όλες οι ταλαντώσεις στην φύση είναι φθίνουσες, γιατί καμμία κίνηση δεν είναι απαλλαγμένη από τριβές και αντιστάσεις. Η απόσβεση (δηλαδή η ελάττωση) του πλάτους μιας ταλάντωσης οφείλεται στις δυνάμεις που αντιτίθενται στην κίνηση του. Επειδή αυτές οι δυνάμεις είναι αντίθετες με την ταχύτητα, παράγουν συνεχώς αρνητικό έργο με αποτέλεσμα να μεταφέρουν συνεχώς ενέργεια από το ταλαντούμενο σύστημα στο περιβάλλον. Έτσι η ολική ενέργεια του συστήματος με την πάροδο του χρόνου ελαττώνεται και το πλάτος της ταλάντωσης, που εξαρτάται από την ολική ενέργεια μειώνεται. Γενικά οι δυνάμεις που προκαλούν μείωση του πλάτους δεν είναι εύκολο να προσδιοριστούν. Μια περίπτωση με μμεγάλο ενδιαφέρον είναι η περίπτωση της δύναμης που είναι ανάλογη και αντίθετη της ταχύτητας.

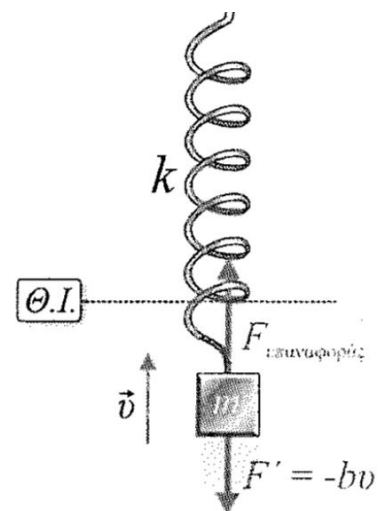
$$F' = -bv$$

Η σταθερά αναλογίας b είναι μια θετική ποσότητα που ονομάζεται σταθερά απόσβεσης και εξαρτάται από τις ιδιότητες του μέσου καθώς και από το σχήμα και το μέγεθος του αντικειμένου που κινείται. Η μονάδας μέτρησης στο S.I. είναι το 1kg/s . Από την μορφή της δύναμης είναι εμφανές ότι ο ρυθμός μείωσης του πλάτους της ταλάντωσης θα εξαρτάται από την τιμή της σταθεράς b . Όσο μεγαλύτερη είναι, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η μείωση του πλάτους σε κάθε περίοδο.

Χρησιμοποιώντας την διάταξη του διπλανού σχήματος και για διάφορες τιμές της σταθεράς απόσβεσης, παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις, στις οποίες αποδίδεται η απομάκρυνση x σε συνάρτηση με τον χρόνο για μηδενική, μικρή, μεσαία και μεγάλη απόσβεση.

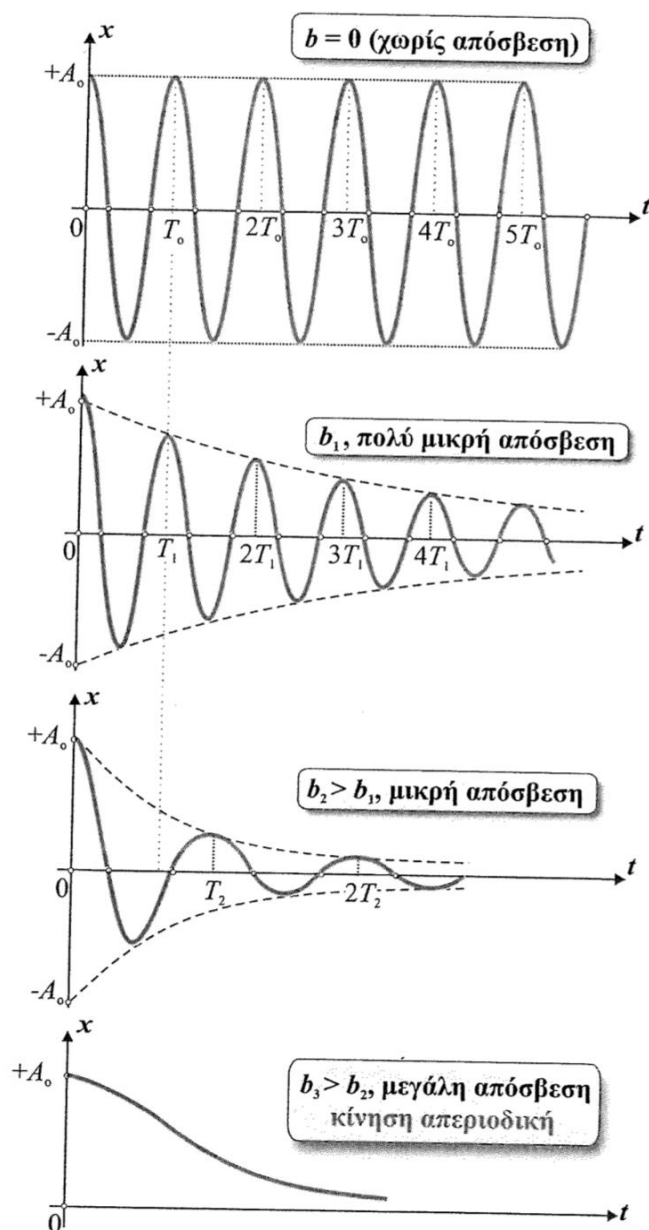
Τα βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν είναι :

- **Το πλάτος της ταλάντωσης είναι φθίνουσα συνάρτηση του χρόνου.** Το πόσο γρήγορα μειώνεται το πλάτος εξαρτάται από τη σταθερά



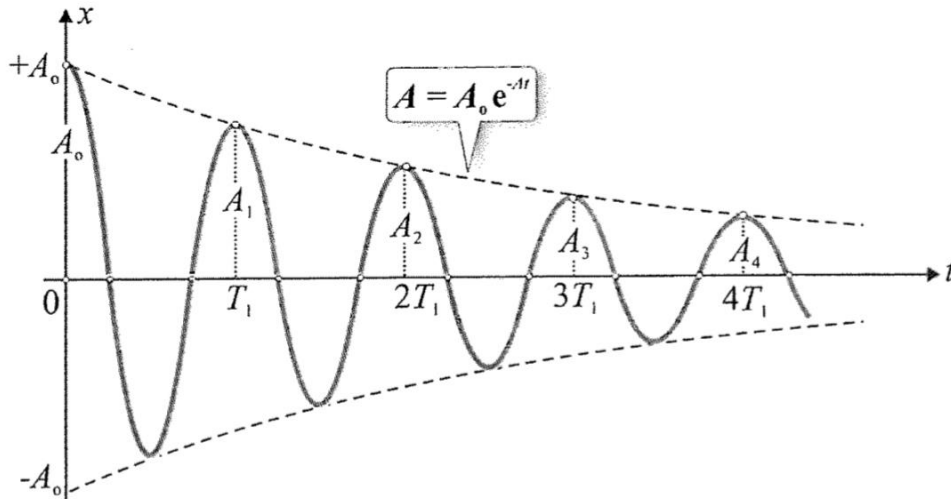
απόσβεσης b . Όταν η σταθερά απόσβεσης μεγαλώνει, το πλάτος της ταλάντωσης μειώνεται πιο γρήγορα. Στις ακραίες περιπτώσεις που η σταθερά b παίρνει πολύ μεγάλες τιμές, η κίνηση γίνεται απεριοδική, δηλαδή ο ταλαντωτής επιστρέφει στην θέση ισορροπίας του και μένει εκεί.

- Η περίοδος για ορισμένη τιμή της σταθεράς b , διατηρείται σταθερή και ανεξάρτητη από το πλάτος. Όταν η σταθερά b μεγαλώνει, η περίοδος παρουσιάζει μια μικρή αύξηση που θεωρείται αμελητέα



Η εκθετική μείωση του πλάτους

Το πλάτος της ταλάντωσης μειώνεται εκθετικά με τον χρόνο σύμφωνα με την σχέση : $A = A_0 e^{-\Lambda t}$ όπου A_0 είναι το πλάτος της ταλάντωσης την χρονική στιγμή $t = 0$ και $\Lambda = b/2m$ είναι μια θετική σταθερά. Η μονάδα μέτρησης της σταθεράς Λ στο S.I. είναι το s^{-1} .



Η ενέργεια στην φθίνουσα μηχανική ταλάντωση μειώνεται και αυτή εκθετικά με τον χρόνο και θα υπολογίζεται από τον τύπο :

$$E = \frac{1}{2} D A^2 = \frac{1}{2} D (A_0 e^{-\Lambda t})^2 \Rightarrow E = \frac{1}{2} D A_0^2 e^{-2\Lambda t} \Rightarrow E = E_0 e^{-2\Lambda t}$$

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ

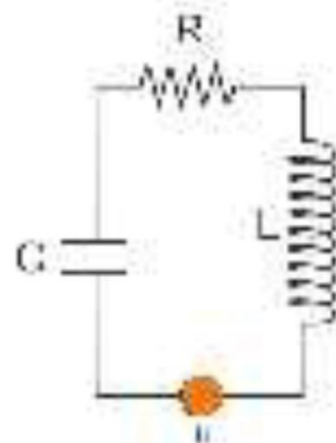
Αν ένα κύκλωμα L-C διεγερθεί (π.χ. με φόρτιση του πυκνωτή από πηγή συνεχούς τάσης) εκτελεί ελεύθερη ηλεκτρική ταλάντωση με συχνότητα :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Αν το κύκλωμα δεν παρουσιάζει αντίσταση (ιδανικό κύκλωμα L - C), τότε η ταλάντωση είναι αμείωτη. Αν, όμως αντίσταση στο κύκλωμα δεν είναι αμελητέα ($R \neq 0$), η ταλάντωση είναι φθίνουσα με συχνότητα

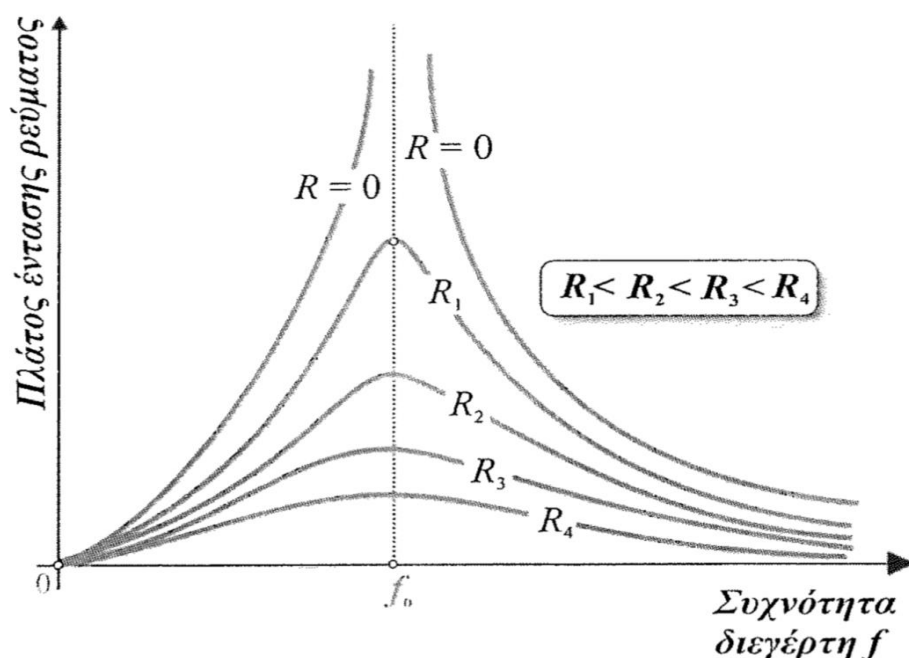
ελαφρώς μικρότερη από την ιδιοσυχνότητα f_0 του κυκλώματος (πρακτικά περίπου ίση για το σχολικό βιβλίο). Όπως και στις φθίνουσες μηχανικές ταλαντώσεις, έτσι και εδώ το κύκλωμα μπορεί να εκτελέσει εξαναγκασμένη ταλάντωση. Ως διεγέρτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια πηγή εναλλασσόμενης τάσης, όπως φαίνεται στο σχήμα.

Τότε, το κύκλωμα διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα με συχνότητα f , ίδια με της εναλλασσόμενης τάσης. Αν μεταβάλουμε την συχνότητα της τάσης, το πλάτος της έντασης του εναλλασσόμενου ρεύματος μεταβάλλεται και παίρνει την μέγιστη τιμή του, όταν η συχνότητα f γίνεται ακριβώς ίση με την ιδιοσυχνότητα f_0 του κυκλώματος $L - C$. Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι το κύκλωμα $L - C$ βρίσκεται σε συντονισμό. Στο διάγραμμα του παρακάτω σχήματος παριστάνεται το πλάτος I της έντασης του ρεύματος σε συνάρτηση με την συχνότητα f , για διάφορες τιμές της ωμικής αντίστασης R



Παρατηρούμε ότι οι καμπύλες συντονισμού είναι αντίστοιχες με εκείνες των μηχανικών εξαναγκασμένων ταλαντώσεων. Αυτό όμως που πρέπει να

προσέξουμε είναι ότι καθώς η ωμική αντίσταση R αυξάνεται, το πλάτος της έντασης του ρεύματος I μειώνεται, αλλά η συχνότητα για την οποία συμβαίνει η μεγιστοποίηση του πλάτους της έντασης του ρεύματος δεν μετατοπίζεται προς μικρότερες τιμές, αλλά παραμένει



πάντα ίδια με την ιδιοσυχνότητα f_0 του κυκλώματος. Βασική εφαρμογή του συντονισμού στις εξαναγκασμένες ηλεκτρικές ταλαντώσεις είναι το φαινόμενο "πίσω" από την επιλογή ραδιοφωνικού σταθμού στο ραδιόφωνο. Η επιλογή βασίζεται στον συντονισμό του κυκλώματος $L - C$ του ραδιοφώνου με τα ραδιοφωνικά κύματα. Μεταβάλλοντας την συχνότητα στο ραδιόφωνο μας μεταβάλλουμε την χωρητικότητα ενός πυκνωτή στο εσωτερικό του, άρα και την ιδιοσυχνότητα f_0 μέχρι να "συντονίστούμε" με την συχνότητα f του σταθμού και να ακούσουμε καθαρά την ένταση του σήματος.

ΚΥΜΑΤΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΟΡΙΣΜΟΣ:

Κύμα ονομάζεται μια διαταραχή που μεταδίδεται στο χώρο και το χρόνο.

Η δημιουργία κάθε είδους μηχανικού κύματος απαιτεί κάποιο υλικό μέσα στο οποίο μεταφέρεται η μηχανική ενέργεια. Το υλικό αυτό ονομάζεται **μέσο διάδοσης του κύματος**.

Όστε τα μηχανικά κύματα έχουν δύο βασικά κοινά χαρακτηριστικά:

α. Διαδίδονται μέσα στα υλικά μέσα.

β. Μεταφέρουν μηχανική ενέργεια.

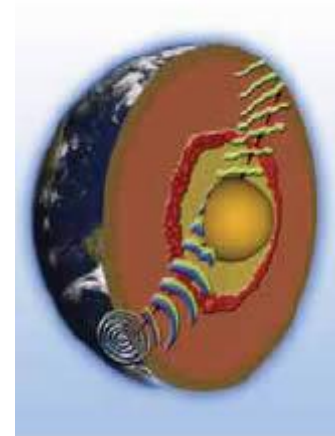
ΕΙΔΗ ΚΥΜΑΤΩΝ

Διακρίνουμε δύο βασικούς τύπους κυμάτων ανάλογα με τον τρόπο κίνησης των σωματιδίων του μέσου διάδοσης. Στα εγκάρσια κύματα, όπου τα σωματίδια του μέσου ταλαντώνονται κάθετα στην διεύθυνση διάδοσης του μέσου και στα διαμήκη κύματα, όπου τα σωματίδια του μέσου ταλαντώνονται κατά την διεύθυνση διάδοσης του κύματος. **Τα διαμήκη κύματα διαδίδονται στα στερεά, στα υγρά και στα αέρια, ενώ τα εγκάρσια διαδίδονται μόνο στα στερεά. Επιπρόσθετα, αν και τα κύματα που δημιουργούνται στο βάθος μιας λίμνης ή της θάλασσας είναι διαμήκη, τα κύματα που δημιουργούνται στην επιφάνεια του νερού δεν μοιάζουν με αυτά. Καθώς διαδίδεται ένα κύμα στην επιφάνεια ενός υγρού, τα σωματίδια κινούνται τόσο παράλληλα όσο και κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος, με τελικό**

αποτέλεσμα οι τροχιές τους να είναι κυκλικές. Το κύμα που διαδίδεται με αυτό τον τρόπο αποτελεί ένα μίγμα εγκάρσιων και διαμηκών κυμάτων και ονομάζεται επιφανειακό κύμα.

ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

Ένας σεισμός παράγει δύο είδη κυμάτων: Πρωτεύοντα κύματα (κύματα P) που είναι διαμήκη (παριστάνονται με πράσινο χρώμα στην εικόνα) και δευτερεύοντα κύματα (κύματα S) που είναι εγκάρσια (παριστάνονται με μπλε χρώμα στην εικόνα). Οι γεωφυσικοί, μελετώντας τα σεισμικά κύματα με τη βοήθεια των σειсмоγράφων, βρήκαν ότι τα διαμήκη κύματα διέρχονται από τον πυρήνα της γης, ενώ τα εγκάρσια όχι. Από αυτό το δεδομένο συμπεράναν ότι ο πυρήνας της γης είναι σε ρευστή κατάσταση.



ΚΥΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Μεταξύ των γειτονικών σπειρών του ελατηρίου ασκούνται δυνάμεις. Οι δυνάμεις αυτές επαναφέρουν κάθε σφαιρίδιο στην αρχική θέση ισορροπίας του. Ταυτόχρονα μέσω του έργου που παράγουν μεταφέρουν ενέργεια από σφαιρίδιο σε σφαιρίδιο. Έτσι κάθε σφαιρίδιο θα μετατοπιστεί με τη σειρά του από τη θέση ισορροπίας του. Ο παλμός ταξιδεύει μεταφέροντας ενέργεια. Τα σφαιρίδια μετατοπίζονται και όταν η ενέργεια που προσέλαβαν μεταφερθεί στα επόμενα επιστρέφουν στην αρχική θέση ισορροπίας τους. Έτσι αυτή η κίνηση διαδίδεται τελικά σε όλα τα σφαιρίδια του ελατηρίου. Λέμε τότε ότι ένα **κύμα** διαδίδεται κατά μήκος του ελατηρίου. Το **κύμα μεταφέρει ενέργεια** σε κάθε σφαιρίδιο του ελατηρίου **χωρίς να μεταφέρει ύλη**. Μια **πηγή** που **ταλαντώνεται** μπορεί να **παράγει κύμα**. Η ενέργεια που μεταφέρει το κύμα προσφέρεται από την πηγή.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ

Για να περιγράψουμε ένα κύμα χρησιμοποιούμε ορισμένα χαρακτηριστικά φυσικά μεγέθη: **τη συχνότητα, την περίοδο, το πλάτος** ταλάντωσης των σωματιδίων, **την ταχύτητα και το μήκος κύματος**.

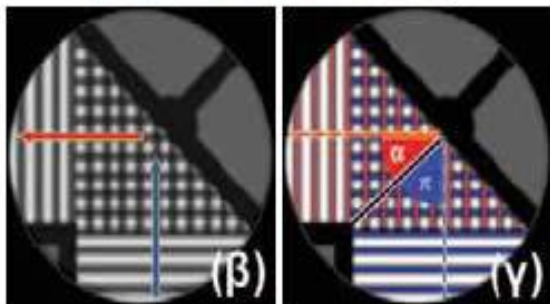
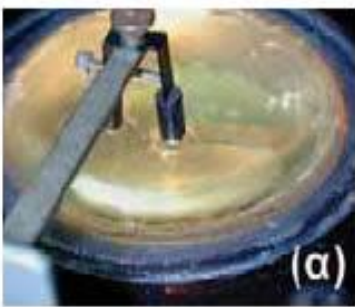
Τα σωματίδια κάθε μέσου στο οποίο διαδίδεται ένα κύμα εκτελούν ταλαντώσεις. **Η περίοδος T και συχνότητα f** αυτών των ταλαντώσεων ονομάζεται περίοδος και συχνότητα του κύματος αντίστοιχα. Η μικρότερη απόσταση μεταξύ δύο σημείων με την ίδια απομάκρυνση από τη θέση ισορροπίας και την ίδια κατεύθυνση κίνησης ονομάζεται **μήκος κύματος** και συμβολίζεται με λ . Σ' ένα **εγκάρσιο κύμα** σχηματίζονται «**όρη**» και «**κοιλιάδες**». Το μήκος κύματος ισούται με την απόσταση δύο διαδοχικών κοιλιάδων ή δύο διαδοχικών ορέων. Τις υποθέσουμε ότι έχουμε ένα ρευστό μέσο στο οποίο διαδίδεται ένα **διάμηκες κύμα**. Τότε δημιουργούνται περιοχές αυξημένης πίεσης (πυκνότητας) (**πυκνώματα**) και περιοχές μειωμένης πίεσης (**αραιώματα**). Το μήκος κύματος ισούται με την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών πυκνωμάτων ή αραιωμάτων.

Πλάτος του κύματος ονομάζεται το πλάτος τις ταλάντωσης των σωματιδίων του μέσου στο οποίο διαδίδεται το κύμα. Το πλάτος του κύματος σχετίζεται με το ποσό τις ενέργειας που μεταφέρεται μέσω του κύματος. **Όσο μεγαλύτερο είναι το πλάτος τόσο μεγαλύτερη είναι και η ενέργεια** που μεταφέρεται. Σε χρόνο μιας περιόδου T η απόσταση που διανύει η διαταραχή είναι ίση με ένα μήκος κύματος λ . Σύμφωνα με τον ορισμό της ταχύτητας $υ$ του κύματος $υ = \Delta x / \Delta t$, αν $\Delta t = T$, τότε $\Delta x = \lambda$, οπότε προκύπτει: $υ = \lambda / T$. Επειδή τις $T = 1/f$, όπου f η συχνότητα, η προηγούμενη σχέση παίρνει τη μορφή: $υ = \lambda \cdot f$. Η σχέση αυτή ονομάζεται **θεμελιώδης νόμος τις κυματικής: Η ταχύτητα διάδοσης του κύματος σ' ένα μέσο ισούται με το γινόμενο τις συχνότητάς του επί το μήκος κύματος**.

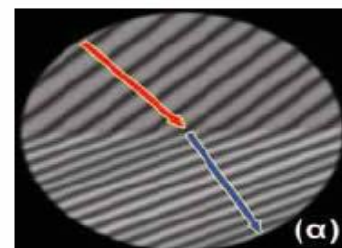
Η ταχύτητα:

- Δεν εξαρτάται από το πλάτος του κύματος.
- Εξαρτάται από τις ιδιότητες του μέσου διάδοσης. Στο ίδιο μέσο διάδοσης τα εγκάρσια κύματα διαδίδονται με μικρότερη ταχύτητα απ' ό,τι τα διαμήκη.

Μπορούμε να μελετήσουμε την αλλαγή στη διεύθυνση διάδοσης των κυμάτων όταν αυτά συναντήσουν ένα εμπόδιο ή αλλάξουν μέσο διάδοσης (ανάκλαση και διάθλαση) με τη συσκευή κυματισμών.

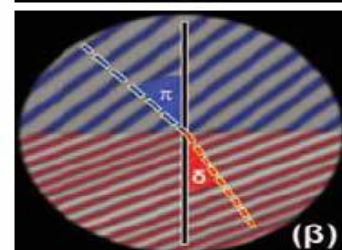


Μια τέτοια συσκευή περιέχει ένα λεπτό στρώμα νερού. Μια ακίδα που ταλαντώνεται παράγει κύματα ορισμένης συχνότητας. Μια λάμπα πάνω από τη συσκευή παράγει σκιές κάτω από τη συσκευή που δείχνουν τις θέσεις των κορυφών των κυμάτων.(εικόνα α)



Ανάκλαση

Αν ένα κύμα κατευθύνεται προς ένα εμπόδιο, δηλαδή προς ένα επίπεδο στερεό τοίχωμα, τότε το κύμα θα ανακλαστεί. Στην εικόνα β το αρχικό κύμα κινείται προς τα πάνω (μπλε βέλος), ενώ το ανακλώμενο κύμα κινείται προς τα αριστερά (κόκκινο βέλος). Η κατεύθυνση κίνησης των κυμάτων που διαδίδονται σε δύο ή τρεις διαστάσεις συχνά παριστάνεται με ακτίνες (σκεφθείτε τις φωτεινές ακτίνες) (εικόνα γ). Όμως προσοχή! Μια ακτίνα δείχνει μόνο την κατεύθυνση διάδοσης του κύματος και όχι το πραγματικό κύμα. Κατά τη μελέτη της ανάκλασης των κυμάτων σχεδιάζουμε την ευθεία που είναι κάθετη στο εμπόδιο και ορίζουμε τη γωνία πρόσπτωσης π και τη γωνία ανάκλασης α . Με τη μέτρηση των γωνιών αυτών προκύπτει ο **νόμος της ανάκλασης σύμφωνα με τον οποίο η γωνία πρόσπτωσης ισούται με τη γωνία ανάκλασης** (εικόνα γ).



Διάθλαση

Με τη βοήθεια μιας συσκευής κυματισμών μπορούμε να μελετήσουμε επίσης τη συμπεριφορά των κυμάτων καθώς διαδίδονται από ένα μέσο σε ένα άλλο. Τοποθετούμε μια γυάλινη πλάκα ημικυκλικού σχήματος στον πυθμένα της συσκευής (εικόνα α). Το νερό πάνω από την πλάκα έχει μικρότερο βάθος συγκριτικά με το υπόλοιπο νερό της συσκευής. Η ταχύτητα των κυμάτων εξαρτάται από το βάθος του νερού. Έτσι το νερό πάνω από την πλάκα συμπεριφέρεται ως ένα διαφορετικό μέσο. Καθώς το κύμα διαδίδεται από το βαθύ προς το ρηχό νερό, η διεύθυνσή που διαδίδεται αλλάζει και το μήκος κύματος μειώνεται (εικόνα β). Επειδή το κύμα στο ρηχό νερό προέρχεται από το κύμα που διαδίδεται στο βαθύ νερό, η συχνότητά τους είναι η ίδια. Από την εξίσωση $v = \lambda \cdot f$ η μείωση του μήκους κύματος σημαίνει ότι η ταχύτητα είναι μικρότερη σε νερό μικρότερου βάθους. Τα κύματα πλησιάζουν τη διαχωριστική επιφάνεια με μια αρχική γωνία, δηλαδή η διεύθυνση της ακτίνας δεν είναι παράλληλη με την κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια.

Σ' αυτή την περίπτωση όχι μόνο ελαττώνεται το μήκος κύματος, αλλά επίσης αλλάζει η διεύθυνση διάδοσης των κυμάτων (εικόνα β). Το φαινόμενο της μεταβολής της διεύθυνσης διάδοσης των κυμάτων στο σύνορο μεταξύ δύο διαφορετικών μέσων ονομάζεται **διάθλαση**.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Διδακτικό Σύγγραμμα : Φυσική για επιστήμονες και μηχανικούς
- <https://perifysikhs.files.wordpress.com/2011/05/oscillations-part3.pdf>
- <http://seismo.geology.upatras.gr/ENTASIOMETRO-GREEK.htm>
- <https://www.news.gr/kosmos/episthmonikes-anakalypseis/article/68375/thymaste-giati-oi-stratiotes-den-kanoy-n-pote-vhm.html>
- <http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-C108/542/3558,14706/>
- <https://vivamus.gr/rife-%CE%BF-%CE%B8%CE%B1%CE%BD%CE%AC%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%BF%CF%82-%CF%81%CF%85%CE%B8%CE%BC%CF%8C%CF%82-%CF%84%CE%B1%CE%BB%CE%AC%CE%BD%CF%84%CF%89%CF%83%CE%B7%CF%82-%CF%83%CF%85%CE%BD%CF%84%CE%BF>
- <file:///Users/MariaKanellou/Downloads/Chapter7.pdf>
- <http://users.sch.gr//dmargaris/page/syntonismos2.htm>
- <https://perifysikhs.files.wordpress.com/2011/05/oscillations-part1.pdf>
- http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/html/8547/2226/Fysiki_G-Gymnasiou_html-empl/index5.html
- <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CF%8D%CE%BC%CE%B1>