

1-6 ΕΞΑΝΑΓΚΑΣΜΕΝΕΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ

A. ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ

Αν το σφαιρίδιο του σχήματος 1.24 εκτραπεί από τη θέση ισορροπίας του και αφεθεί ελεύθερο θα εκτελέσει κατακόρυφη ταλάντωση. Αν δεν υπάρχουν αντιστάσεις η ταλάντωση θα είναι αμείωτη, με συχνότητα

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}}$$

Στην πραγματικότητα η ταλάντωση θα είναι φθίνουσα. Η συχνότητά της θα είναι λίγο μικρότερη, στην πράξη όμως μπορούμε να τη θεωρήσουμε ίση με την f_0 .

Μια τέτοια ταλάντωση λέγεται **ελεύθερη ταλάντωση** και η συχνότητα με την οποία πραγματοποιείται λέγεται **ιδιοσυχνότητα** (f_0) της ταλάντωσης.

Αν θέλουμε να διατηρείται σταθερό το πλάτος της ταλάντωσης πρέπει να ασκήσουμε στο σύστημα μια περιοδική δύναμη. Αυτή την πρόσθετη δύναμη την ονομάζουμε **διεγείρουσα δύναμη**.

Στη διάταξη του σχήματος 1.25 το ελατήριο είναι δεμένο με σχοινί, το άλλο άκρο του οποίου προσδένεται στον τροχό T_2 ο οποίος, με κατάλληλη διάταξη, μπορεί να περιστρέφεται. Η περιστροφή του τροχού αναγκάζει το σφαιρίδιο να εκτελεί κατακόρυφη ταλάντωση. Η συχνότητα της ταλάντωσης συμπίπτει με τη συχνότητα περιστροφής του τροχού. Η κίνηση του σφαιριδίου ονομάζεται **εξαναγκασμένη ταλάντωση** και το σώμα που προκαλεί την ταλάντωση με την περιοδική δύναμη που ασκεί (διεγείρουσα δύναμη) -στο παράδειγμά μας ο τροχός- **διεγέρτης**.

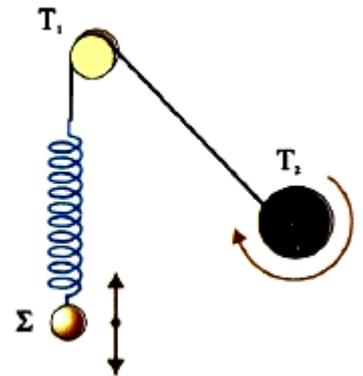


Εικ. 1.5 Το φαινόμενο της παλίρροιας στον κόλπο του Fundy στον Καναδά. Η βαρυτική έλξη της Σελήνης εξαναγκάζει τη μάζα του νερού στην επιφάνεια της Γης σε ταλάντωση.

Όπως είπαμε, η συχνότητα της εξαναγκασμένης ταλάντωσης που εκτελεί το σφαιρίδιο Σ είναι f και όχι f_0 , δηλαδή ο διεγέρτης επιβάλλει στην ταλάντωση τη συχνότητά του. 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



Σχ. 1.24 Το σώμα Σ απομακρύνεται από τη θέση ισορροπίας και αφήνεται ελεύθερο. Η ταλάντωσή του είναι ελεύθερη.



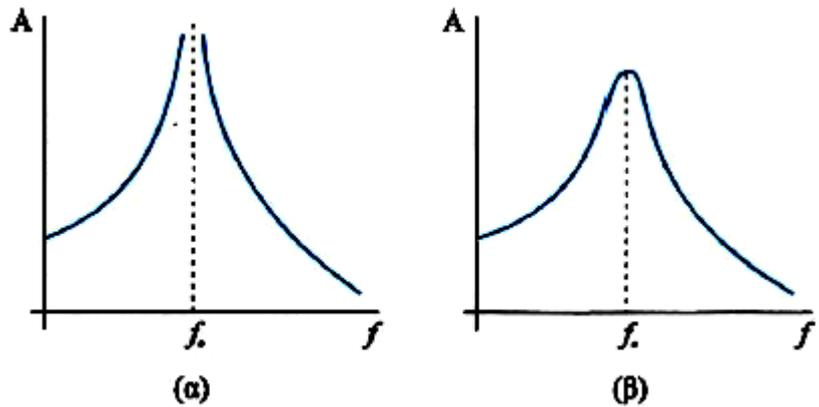
Σχ. 1.25 Το σώμα Σ εκτελεί εξαναγκασμένη ταλάντωση.



Εικ. 1.6 Σ' ένα κουρδιστό ρολόι η αποθηκευμένη ενέργεια στο σπειροειδές ελατήριο αντισταθμίζει τις απώλειες λόγω τριβών και διατηρεί το πλάτος των ταλαντώσεων αμείωτο. Κάποτε η ενέργεια τελειώνει και το ρολόι θέλει κούρδισμα.

είναι γενικά μικρές, εκτός αν η συχνότητα f πλησιάζει στην ιδιοσυχνότητα f_0 , οπότε το πλάτος παίρνει μεγάλες τιμές και γίνεται μέγιστο όταν η συχνότητα f γίνει ίση με την ιδιοσυχνότητα f_0 . Τότε λέμε ότι έχουμε **συντονισμό**.

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



Σχ. 1.26 Τα διαγράμματα του πλάτους μιας εξαναγκασμένης ταλάντωσης, σε συνάρτηση με τη συχνότητα του διεγέρτη. (α) Ταλάντωση χωρίς απόσβεση, (β) Ταλάντωση με απόσβεση.



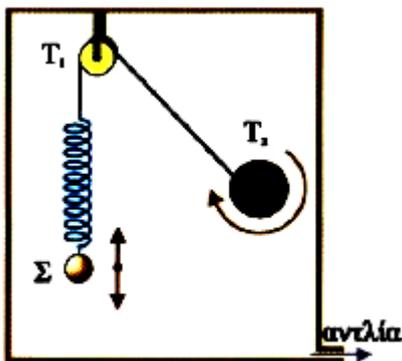
Εικ. 1.7 Τα παιδιά, από πολύ μικρή ηλικία, μαθαίνουν ότι οι κινήσεις που κάνουν με τα πόδια τους όταν κάνουν κούνια πρέπει να έχουν μια συγκεκριμένη συχνότητα. Τότε επιτυγχάνεται συντονισμός και το πλάτος της αιώρησης γίνεται μέγιστο.

Με τη διάταξη του σχήματος 1.27 μπορούμε να παρατηρήσουμε το πλάτος της ταλάντωσης σε συνάρτηση με τη συχνότητα του διεγέρτη, για διάφορες τιμές της σταθεράς απόσβεσης. Στο σχήμα 1.28 παριστάνεται το πλάτος της ταλάντωσης για διάφορες τιμές της σταθεράς απόσβεσης. Το πλάτος της ταλάντωσης κατά το συντονισμό εξαρτάται από τη σταθερά απόσβεσης. Αύξηση της σταθεράς απόσβεσης, συνεπάγεται μείωση του πλάτους της εξαναγκασμένης ταλάντωσης.

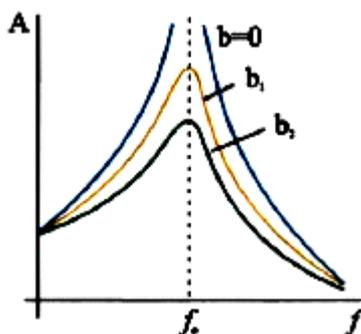
Το σημείο από το οποίο ξεκινούν όλες οι καμπύλες στο διάγραμμα, απέχει από την αρχή των αξόνων όσο απέχει το σημείο πρόσδεσης του σχοινού από το κέντρο του τροχού T_2 .

Ενεργειακή μελέτη

Στις ελεύθερες ταλαντώσεις κατά τη διέγερση του συστήματος δίνεται σε αυτό κάποια μηχανική ενέργεια, η οποία διατηρείται σταθερή -αν η ταλάντωση είναι αμειώτη- ή μετατρέπεται σταδιακά σε θερμότητα -αν είναι φθίνουσα. Στις εξαναγκασμένες ταλαντώσεις, στο σύστημα προσφέρεται συνεχώς ενέργεια με συχνότητα f μέσω της διεγείρουσας δύναμης.



Σχ. 1.27 Το σώμα Σ εκτελεί εξαναγκασμένη ταλάντωση, μέσα σε δοχείο στο οποίο μπορούμε να μεταβάλλουμε την πίεση του αέρα.

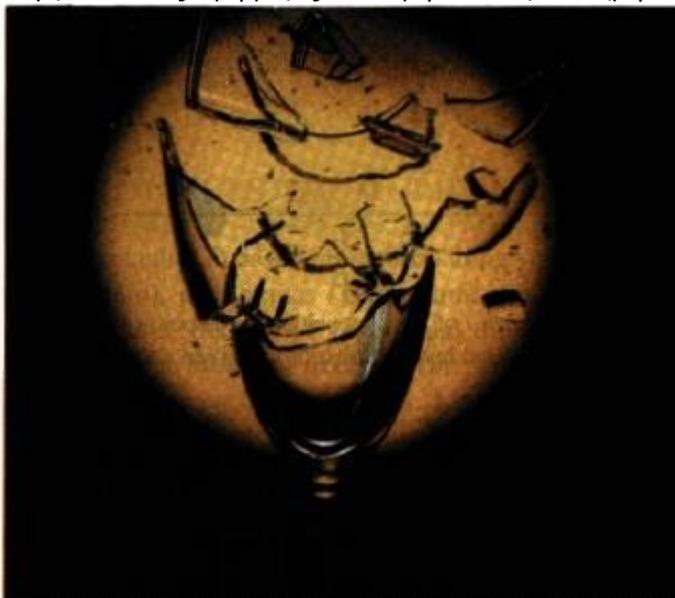


Η ενέργεια που προσφέρεται στο σύστημα αντισταθμίζει τις απώλειες και έτσι το πλάτος της ταλάντωσης διατηρείται σταθερό. Ο τρόπος με τον οποίο το ταλαντούμενο σύστημα αποδέχεται την ενέργεια είναι εκλεκτικός και έχει να κάνει με τη συχνότητα υπό την οποία προσφέρεται. Κατά το συντονισμό η ενέργεια μεταφέρεται στο σύστημα κατά το βέλτιστο τρόπο, γι αυτό και το πλάτος της ταλάντωσης γίνεται μέγιστο.

Σχ. 1.28 Το διάγραμμα του πλάτους μιας εξαναγκασμένης ταλάντωσης σε συνάρτηση με τη συχνότητα του διεγέρτη για διάφορες τιμές του b ($b_1 < b_2$). Στις ταλαντώσεις με απόσβεση η συχνότητα συντονισμού είναι λίγο μικρότερη από την f_0 . Όσο αυξάνεται η απόσβεση η μείωση της συχνότητας συντονισμού γίνεται μεγαλύτερη. Αυτή η μετατόπιση της συχνότητας συντονισμού είναι πολύ μικρή και στην κλίμακα του διαγράμματος δε φαίνεται.

Εφαρμογές του συντονισμού

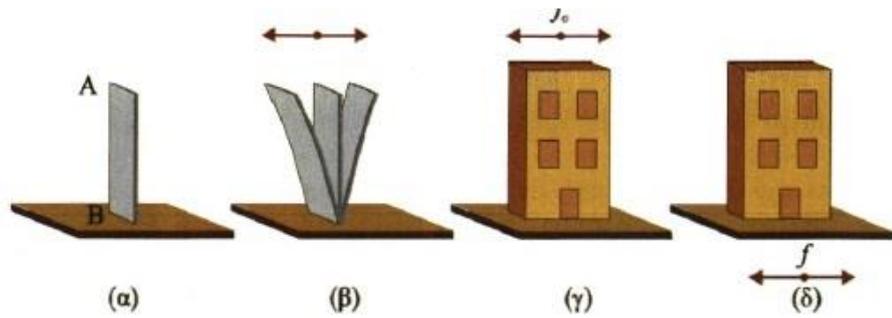
Τα παραδείγματα του συντονισμού στη φυσική είναι πολλά. Ο συντονισμός λαμβάνεται πολύ σοβαρά υπόψη σε πολλές εφαρμογές που αφορούν στην καθημερινή μας ζωή



Εικ. 1.8 Όταν η συχνότητα ενός ηχητικού κύματος γίνει ίση με την ιδιοσυχνότητα του κρυστάλλινου ποτηριού, το ποτήρι ταλαντώνεται με το μέγιστο δυνατό πλάτος και τελικά σπάει.

Σχ. 1.31 Το κτίριο συμπεριφέρεται όπως το μεταλλικό έλασμα. Όταν ταλαντώνεται το έδαφος (σεισμός) το κτίριο κάνει εξαναγκασμένη ταλάντωση.

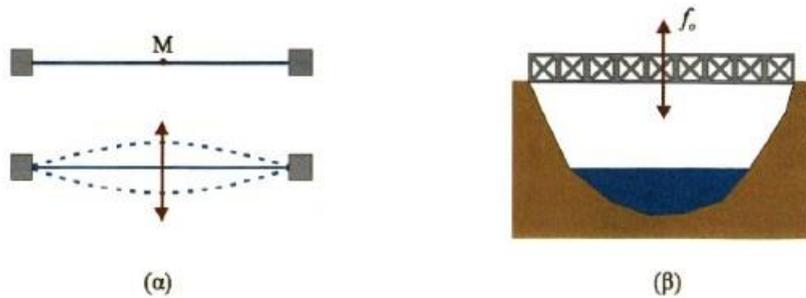
Το AB (σχ. 1.31) είναι ένα μεταλλικό έλασμα, στερεωμένο στο κάτω άκρο του Β σε ακλόνητο δάπεδο (σχ. 1.31α). Αν τραβήξουμε το άκρο Α του ελάσματος και το αφήσουμε ελεύθερο, θα εκτελέσει ταλάντωση, με συχνότητα ίση με την ιδιοσυχνότητά του (σχ. 1.31 β). Θεωρητικά ένα κτίριο (σχ. 1.31γ), αν διεγερθεί, έχει τη δυνατότητα να εκτελέσει ελεύθερη ταλάντωση, παρόμοια με αυτή του ελάσματος με ιδιοσυχνότητα f_0 . Στη διάρκεια ενός σεισμού, το έδαφος πάλλεται με συχνότητα f (σχ. 1.31 δ) και τα κτίρια εξαναγκάζονται να εκτελέσουν ταλάντωση. Αν η συχνότητα f με την οποία πάλλεται το έδαφος (διεγέρτης) είναι ίση με την ιδιοσυχνότητα f_0 του κτιρίου, το πλάτος της ταλάντωσης του κτιρίου θα γίνει μεγάλο, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει στην κατάρρευσή του.



Η χορδή του σχήματος 1.32α έχει στερεωμένα τα άκρα της σε ακλόνητα σημεία. Αν την τραβήξουμε από το μέσον της M και την αφήσουμε ελεύθερη, θα εκτελέσει ταλάντωση με τη φυσική της συχνότητα (ιδιοσυχνότητα). Παρόμοια κίνηση μπορεί να εκτελέσει και η γέφυρα του σχήματος 1.32β αν διεγερθεί.

Αν μια ομάδα ανθρώπων κινηθεί με βηματισμό πάνω στη γέφυρα, η γέφυρα διεγείρεται και εκτελεί εξαναγκασμένη ταλάντωση. Αν η συχνότητα βηματισμού είναι ίση με την ιδιοσυχνότητα της γέφυρας, έχουμε συντονισμό, η γέφυρα ταλαντώνεται με μεγάλο πλάτος και υπάρχει κίνδυνος κατάρρευσης.

Σχ. 1.32 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.



Ένα τέτοιο ατύχημα συνέβη στη Γαλλία το 1850. Μια γέφυρα κατέρρευσε και 226 στρατιώτες σκοτώθηκαν. Από τότε, όταν ένα τμήμα στρατού περνάει πάνω από γέφυρα, οι στρατιώτες προχωρούν με ελεύθερο βηματισμό.