



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ
ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

ΕΚΚΡΕΜΕΣ – ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ – ΕΚΚΡΕΜΕΣ FOUCAULT



ΦΥΣΙΚΗ Ι
ΕΞΑΜΗΝΟ Ι
4/1/2021

ΣΤΑΥΡΙΔΗ ΜΑΡΓΑΡΙΤΑ
ΛΙΒΙΕΡΗ ΑΝΤΙΓΟΝΗ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή.....	3
Κεφάλαιο 1 Ταλαντώσεις	5
Υποκεφάλαιο 1.1 Φθίνουσες ταλαντώσεις.....	7
Υποκεφάλαιο 1.2 Εξαναγκασμένες ταλαντώσεις.....	8
Κεφάλαιο 2 Εκκρεμές.....	10
Υποκεφάλαιο 2.1 Μαθηματικό εκκρεμές.....	11
Υποκεφάλαιο 2.2 Φυσικό εκκρεμές.....	11
Υποκεφάλαιο 2.3 Εκκρεμές του Νεύτωνα.....	13
Κεφάλαιο 3 Εκκρεμές του FOUCAULT.....	13
Υποκεφάλαιο 3.1 Ιστορική αναδρομή.....	13
Υποκεφάλαιο 3.2 Πείραμα.....	14
Βιβλιογραφία.....	15

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συγκεκριμένη εργασία πραγματεύεται την μελέτη του φαινομένου των ταλαντώσεων και του εκκρεμούς.

Ειδικότερα, α εξετάσουμε τις ταλαντώσεις των οποίων το πλάτος είτε παραμένει σταθερό-τις απλές αρμονικές ταλαντώσεις - είτε ελαττώνεται - τις φθίνουσες ταλαντώσεις- είτε ταλαντώσεις στις οποίες προσφέρουμε ενέργεια στο σώμα που ταλαντώνεται -τις εξαναγκασμένες ταλαντώσεις.

Στη συνέχεια θα μιλήσουμε για το εκκρεμές το οποίο αποτελεί ένα παράδειγμα απλής αρμονικής ταλάντωσης. Κατά την μελέτη του διακρίνουμε τις περιπτώσεις του απλού ή μαθηματικού εκκρεμούς και του φυσικού εκκρεμούς

Τέλος θα αναφερθούμε σε μία ειδική κατηγορία, το **εκκρεμές του Φουκώ**. Το τελευταίο είναι εκκρεμές με δυνατότητα ελεύθερης εκτέλεσης ταλαντώσεων. Η ελεύθερη μεταβολή του επιπέδου κίνησης του εκκρεμούς αποδεικνύει την κίνηση της γης. Την ονομασία του την πήρε από τον Γάλλο φυσικό Ζαν Μπερνάρ Λεόν Φουκώ που το πρωτοπαρουσίασε στο Παρίσι.



Η επιλογή του θέματος έγινε με κριτήριο την αξιοποίηση των μαθηματικών και φυσικών γνώσεων που αποκτήθηκαν στο λύκειο και στο πανεπιστήμιο, αλλά και λόγω προσωπικού ενδιαφέροντος της συγγραφικής ομάδας για την κατανόηση ενός φαινομένου που παρατηρείται καθημερινά γύρω μας.

Συμπεραίνεται ότι η συγκεκριμένη εργασία περιέχει τις γνώσεις που έχουν αποκτηθεί μέχρι τώρα σχετικά με το φαινόμενο των ταλαντώσεων και του εκκρεμούς, ενισχυμένες με νέες έννοιες, όπως αυτή του εκκρεμούς του Φουκώ.

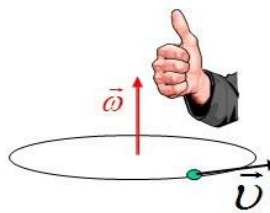


ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ

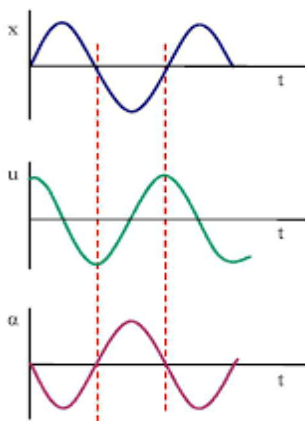
Στη Φυσική με τον όρο ταλάντωση χαρακτηρίζεται οποιαδήποτε περιοδική κίνηση ενός σώματος η οποία γίνεται παλινδρομικά γύρω από μία θέση που ονομάζεται θέση ισορροπίας. Με άλλα λόγια ταλάντωση είναι η περιοδική μεταβολή ενός μεγέθους γύρω από μία τιμή. Η ταλάντωση που γίνεται σε ευθεία τροχιά ονομάζεται **γραμμική ταλάντωση**. Η **απλή αρμονική ταλάντωση** είναι μια ειδική περίπτωση γραμμικής ταλάντωσης. Ένα σύστημα που εκτελεί ταλάντωση ονομάζεται ταλαντωτής.

Στη φυσική έχουν οριστεί τα εξής μεγέθη που αφορούν όλες τις ταλαντώσεις. Τα δύο πρώτα μεγέθη ορίζονται σε όλα τα περιοδικά φαινόμενα:

- **Περίοδος:** ονομάζεται το χρονικό διάστημα που χρειάζεται, για να ολοκληρωθεί μία επανάληψη του φαινομένου. $T = \Delta t / N$ [s]
- **Συχνότητα:** ονομάζεται ο αριθμός των επαναλήψεων που έγιναν στη μονάδα του χρόνου. $F = N / \Delta t$ [s^{-1} , Hz]
- **Κυκλική Συχνότητα:** ονομάζεται το φυσικό μέγεθος το οποίο συνδέεται με την συχνότητα με την σχέση $\omega = 2\pi f$ [rad/sec]



Η απομάκρυνση, η ταχύτητα και η επιτάχυνση δίνονται από τους εξής τύπους:

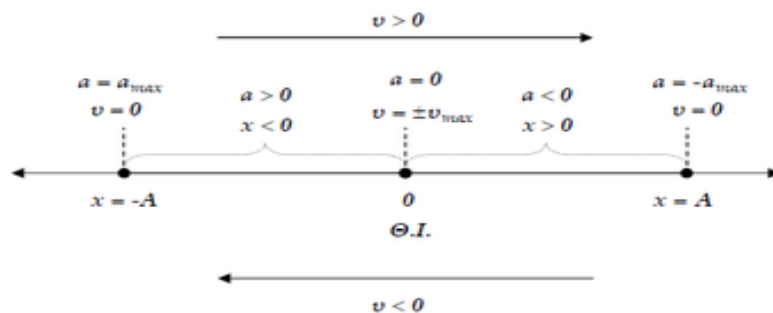


$$x = A \eta \mu(\omega t + \varphi)$$

$$v = v_{\max} \sigma \upsilon \nu(\omega t + \varphi)$$

$$a = -a_{\max} \eta \mu(\omega t + \varphi)$$

- ❖ Το A είναι η μέγιστη απομάκρυνση, δηλαδή η μέγιστη απόσταση από το σημείο O στην οποία φτάνει το κινητό, και ονομάζεται πλάτος της ταλάντωσης.
- ❖ $v_{\max}$ και $a_{\max}$, αντίστοιχα η μέγιστη τιμή της ταχύτητας και της επιτάχυνσης του σώματος.
- ❖ Η γωνία ϕ ονομάζεται αρχική φάση. Η γωνία $(\omega t + \phi)$ ονομάζεται φάση της ταλάντωσης,



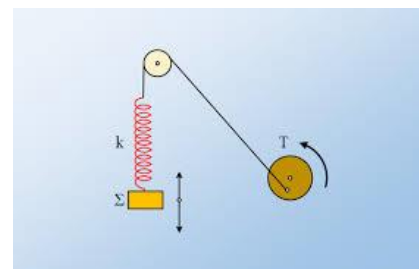
Δυναμική προσέγγιση

Η συνολική δύναμη που δέχεται το σώμα και είναι υπεύθυνη για την επιτάχυνσή του είναι $F = ma \rightarrow F = -ma_{\max}\eta\mu\omega t$ ή $F = -m\omega^2 A\eta\mu\omega t$ και επειδή $x = A\eta\mu\omega t$ η εξίσωση γίνεται: $F = -m\omega^2 x$. Αν συμβολίσουμε με D το γινόμενο $m\omega^2$ η εξίσωση αυτή γράφεται: $F = -D/x$

Η παραπάνω σχέση είναι γνωστή και σαν συνθήκη για την παραγωγή απλής αρμονικής ταλάντωσης. Η δύναμη F ονομάζεται δύναμη επαναφοράς (γιατί τείνει να επαναφέρει το σώμα στη θέση ισορροπίας) και η σταθερά αναλογίας D σταθερά επαναφοράς. Η σταθερά επαναφοράς δίνεται από τη σχέση

$$D = m\omega^2 = m[2\pi]^2 / T = 2\pi \sqrt{m/D}$$

- Ενεργειακή προσέγγιση



- Κινητική ενέργεια

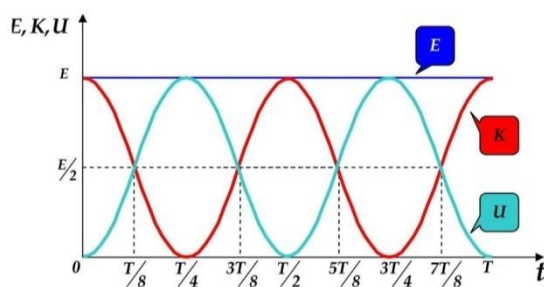
$$K = 1/2 m v^2 = 1/2 m v_{\max}^2 \sin^2 \omega t = 1/2 m \omega^2 A^2 \sin^2 \omega t$$

- Δυναμική ενέργεια στο σύστημα

$$U = 1/2 m \omega^2 A^2 \eta \mu^2 \omega t$$

- Η ενέργεια ταλάντωσης του συστήματος σε μια τυχαία θέση δίνεται από τη σχέση: $E = K + U$

$$E = 1/2 m \omega^2 A^2 (\sigma \nu^2 \omega t + \eta \mu^2 \omega t) = 1/2 m \omega^2 A^2 \rightarrow E_{1/2} = D A^2$$



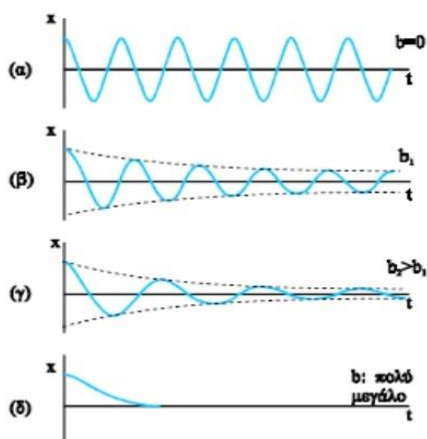
ΦΘΙΝΟΥΣΕΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ

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 καμία 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 μεγάλο 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 μονάδα μέτρησης στο S.I. είναι το kg/s

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} .



ΕΞΑΝΑΓΚΑΣΜΕΝΕΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ

Εξαναγκασμένη λέγεται η ταλάντωση κατά την οποία το ταλαντούμενο σύστημα δέχεται την επίδραση εξωτερικής περιοδικής δύναμης που προσφέρει ενέργεια στο σύστημα, έτσι ώστε να αναπληρώνονται οι ενεργειακές του απώλειες και κατά συνέπεια να εκτελεί ταλάντωση σταθερού πλάτους(αμείωτη).

Αν δεν υπάρχουν αντιστάσεις η ταλάντωση θα είναι αμείωτη, με συχνότητα

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

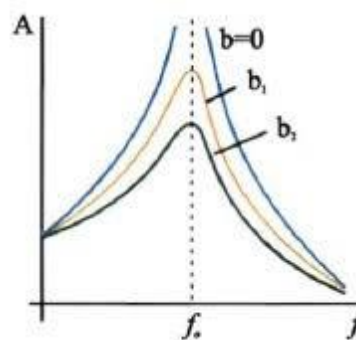
και η συχνότητα με την οποία πραγματοποιείται λέγεται **ιδιοσυχνότητα** (f_0) της ταλάντωσης.

το σώμα που προκαλεί την ταλάντωση με την περιοδική δύναμη που ασκεί (διεγείρουσα δύναμη) ονομάζεται **διεγέρτης**.

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 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.



Μερικά παραδείγματα είναι: Η Ταλάντωση που μπορεί να εκτελέσει μια κούνια, η ράβδος σ' ένα παλιό ρολόι τοίχου, η χορδή μιας κιθάρας, ένα σώμα συνδεδεμένο με ελατήριο, η στήλη του αέρα μέσα στη φλογέρα, το έμβολο μιας μηχανής αυτοκινήτου, αλλά και ένας κρύσταλλος χαλαζία σ' ένα μοντέρνο ρολόι χεριού. Τέλος στη διάρκεια ενός σεισμού, το έδαφος πάλλεται με συχνότητα f 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.

ΕΚΚΡΕΜΕΣ

Εκκρεμές ονομάζεται ένα στερεό σώμα μέσα σε βαρυτικό πεδίο, το οποίο μπορεί να περιστρέφεται γύρω από οριζόντιο άξονα που δεν περνάει από το κέντρο βάρους του. Αν το εκκρεμές εκτραπεί από τη θέση ισορροπίας του, που είναι η κατακόρυφη ευθεία που διέρχεται από το σταθερό σημείο και το κέντρο βάρους του, τότε, λόγω βαρύτητας, το εκκρεμές τίθεται σε κίνηση. Επειδή το σκοινί δεν αλλάζει μήκος, τουλάχιστον θεωρητικά, το εκκρεμές εκτελεί μέρος κυκλικής κίνησης σε κύκλο που οριοθετείται από το σταθερό σημείο και το μήκος του σχοινιού. Αν δεν υπάρχουν απώλειες ενέργειας, κυρίως λόγω τριβών, το εκκρεμές εκτελεί ταλάντωση. Αν η γωνία εκτροπής είναι πολύ μικρή, τότε η ταλάντωση του εκκρεμούς μπορεί να θεωρηθεί απλή αρμονική ταλάντωση. Η περίοδος αυτής της ταλάντωσης είναι σταθερή, για αυτό χρησιμοποιήθηκε και χρησιμοποιείται σε μεγάλα ρολόγια και καμπαναριά.

Το εκκρεμές βρίσκει εφαρμογή στην κατασκευή ρολογιών, στην κατασκευή επιστημονικών οργάνων, όπως επιταχυντόμετρα και σεισμόμετρα. Στο παρελθόν χρησιμοποιούνταν επίσης για την μέτρηση της επιτάχυνσης της βαρύτητας.

Στην περίπτωση που μελετάται η ταλάντωση μίας σημειακής μάζας που κρέμεται από αβαρές νήμα αναφερόμαστε στο μαθηματικό εκκρεμές, ενώ στην περίπτωση που έχουμε ένα τυχαίο επίπεδο σώμα αναρτημένο από από έναν σταθερό άξονα που δεν διέρχεται από το κέντρο μάζας του αναφερόμαστε στο φυσικό εκκρεμές. Το μαθηματικό εκκρεμές προσομοιώνεται με ένα μικρό, βαρύ σφαιρικό σώμα που κρέμεται από πολύ λεπτό νήμα.

✓ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΕΚΚΡΕΜΕΣ

Το μαθηματικό ή απλό εκκρεμές είναι ένα ιδανικό μοντέλο εκκρεμούς. Πρόκειται για ένα σύστημα που αποτελείται από μία σημειακή μάζα η οποία κρέμεται από αβαρές νήμα και εκτελεί απλές αρμονικές ταλαντώσεις. Σε ένα τέτοιο σύστημα οι μόνες δυνάμεις που ασκούνται είναι το βάρος και η τάση του νήματος. Η βαρύτητα έχει κατεύθυνση προς τα κάτω, ενώ η τάση του νήματος έχει κατεύθυνση προς το σταθερό σημείο και είναι πάντα κάθετη στην ταχύτητα. Επειδή, το σώμα διατρέχει τμήμα κύκλου, η συνολική δύναμη μπορεί να αναλυθεί σε δύο δυνάμεις, μία κεντρομόλο και μία επιτρόχια. Το ίδιο ισχύει και για την ταχύτητα. Η ακτινική ταχύτητα είναι μηδέν, άρα η κεντρομόλος δύναμη είναι ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας. Σε ένα τέτοιο εκκρεμές ο δεύτερος νόμος του Νεύτωνα για την επιτρόχια δύναμη γράφεται:

$$F = mg \sin\theta$$

Για μικρή γωνία θ , η F είναι στην διεύθυνση $-x$.

Και επειδή για μικρή γωνία ισχύει: $\sin\theta = x/L$ $F_x = - (mg/L) x$

$$F = (-mg/L)x \Rightarrow m d^2x/dt^2 = - (mg/L) x \Rightarrow d^2x/dt^2 + (g/L) x = 0$$

Άρα το σύστημα εκτελεί ταλάντωση με γωνιακή συχνότητα:

$$\omega = \sqrt{g/L} \Rightarrow F = 1/2\pi \sqrt{g/L} \Rightarrow T = 2\pi \sqrt{L/g}$$

✓ ΦΥΣΙΚΟ ΕΚΚΡΕΜΕΣ

Το φυσικό εκκρεμές αντιστοιχεί σε ένα επίπεδο στερεό σώμα αναρτημένο από έναν σταθερό άξονα που δεν διέρχεται από το κέντρο μάζας του. Στο φυσικό εκκρεμές ασκείται ροπή στο σώμα με την επίδραση της οποίας ταλαντώνεται. Η περίοδος ταλάντωσης του ισούται με:

$$T = 2\pi \sqrt{I/MgL}$$

όπου I η ροπή αδράνειας του σώματος, και L η απόσταση του κέντρου μάζας του από τον σταθερό άξονα.

Ειδικότερα: Το μέτρο της ροπής είναι: $mgd \sin\theta$

Σύμφωνα με τον δεύτερο νόμο του Νεύτωνα,

$$-mgd \sin\theta = I d^2\theta/dt^2$$

Η βαρυτική δύναμη προκαλεί μια ροπή επαναφοράς. Αν υποθέσουμε ότι η γωνία θ είναι μικρή, η εξίσωση γίνεται

$$d^2\theta/dt^2 = -(mgd/I)\theta = -\omega^2\theta$$

Η παραπάνω εξίσωση έχει την ίδια μαθηματική μορφή με την εξίσωση που περιγράφει ένα σώμα το οποίο εκτελεί απλή αρμονική κίνηση. Η λύση της είναι η λύση του απλού αρμονικού ταλαντωτή. Η κυκλική συχνότητα είναι

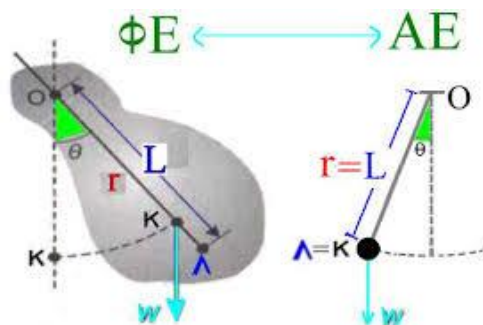
$$\omega = \sqrt{(mgd/I)}$$

Η περίοδος είναι

$$T = 2\pi/\omega = 2\pi\sqrt{(I/mgd)}$$

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το φυσικό εκκρεμές για να μετρήσουμε τη ροπή αδράνειας ενός επίπεδου, άκαμπτου σώματος.

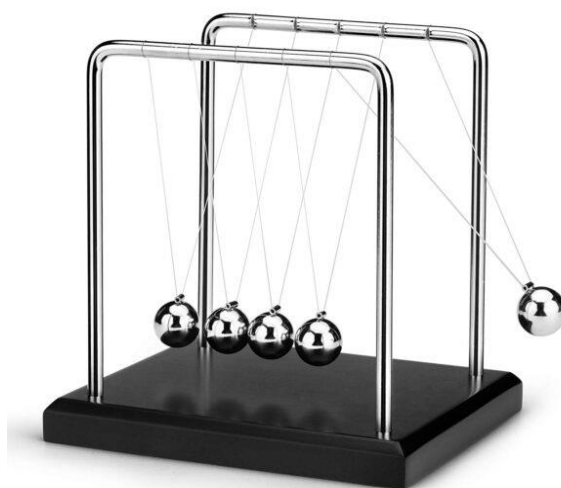
Αν $I = md^2$, τότε το φυσικό εκκρεμές ισοδυναμεί με το απλό εκκρεμές.



Εκκρεμές του

Νεύτωνα

Το Εκκρεμές του Νεύτωνα, που πήρε το όνομά του από τον Ισαάκ Νεύτων, είναι μια συσκευή που καταδεικνύει τη διατήρηση της ορμής και της ενέργειας με τη χρήση μιας σειράς σφαιρών που ταλαντεύονται. Όταν μια σφαίρα στο τέλος σηκώνεται και απελευθερώνεται, χτυπάει τις στατικές σφαίρες. Η δύναμη μεταδίδεται μέσω των στατικών σφαιρών και ωθεί την τελευταία σφαίρα προς τα πάνω. Η συσκευή είναι επίσης γνωστή ως οι σφαίρες του Νεύτωνα, οι μπάλες του Νεύτωνα, το λίκνο του Νεύτωνα ή η κούνια του Νεύτωνα.



ΕΚΚΡΕΜΕΣ FOUCAULT

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ :

Ο πρώτος που απέδειξε τη περιστροφή της γης με τη χρήση του εκκρεμούς ήταν ο γάλλος Ζαν Μπερνάρ Λεόν Φουκώ. Το 1851 κατασκεύασε ένα εκκρεμές με νήμα 67 μέτρων στο Πάνθεον στο Παρίσι χρησιμοποιώντας μία σφαίρα κανονιού 28 κιλών. Έπειτα τοποθέτησε μία βελόνα κάτω από τη σφαίρα και έβαλε άμμο κάτω από τη τροχιά της σφαίρας, έτσι ώστε η βελόνα να χαράζει το ίχνος της τροχιάς στην άμμο. Μέσα σε λίγα λεπτά το εκκρεμές είχε αρχίσει να αιωρείται σύμφωνα με τη φορά των δεικτών του ρολογιού. Η Γη περιστρεφόταν κάτω από το εκκρεμές .

ΠΕΙΡΑΜΑ:

Για την κατασκευή του εκκρεμούς του Φουκώ αρκεί ένα αρκετά μακρύ σχοινί, ώστε να ελαττώνεται το φαινόμενο της μείωσης των ταλαντώσεων, και ένα βάρος, τέτοιο, ώστε να κρατάει το σχοινί τεντωμένο. Θέτουμε το εκκρεμές σε ταλάντωση στο Βόρειο πόλο. Αν η γη δεν έκανε περιστροφή τότε το εκκρεμές θα ταλαντώνονταν ακριβώς στο ίδιο κάθετο επίπεδο. Επειδή η γη κινείται, το κάθετο επίπεδο του εκκρεμούς στρέφεται αντίθετα από τη φορά κίνησης της γης, λόγω των δυνάμεων Κοριόλις. Εμφανίζεται σαν η γη να γυρίζει κάτω από το εκκρεμές, πράγμα που ακριβώς συμβαίνει. Η στροφή αυτή του επιπέδου θα κάνει έναν πλήρη κύκλο σε διάστημα μιας ημέρας ή μισό (οπότε θα φαίνεται σαν να έχει επανέλθει στην αρχική του θέση) σε 12 ώρες.



Στους
του

πόλους η κίνηση
επιπέδου

ταλάντωσης εκτελεί έναν πλήρη κύκλο σε μία αστρονομική μέρα. Στα υπόλοιπα σημεία της γης ο πλήρης κύκλος ολοκληρώνεται σε χρόνο μεγαλύτερο από τους πόλους ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος στο οποίο βρίσκεται.

$$\omega_{\omega} = \omega(1 - 3/8(\alpha/l)^2)\eta\mu\phi$$

όπου:

- ω_{ω} - περίοδος περιστροφής του εκκρεμούς (μοίρες ανά αστρονομική ώρα),
- ω - συχνότητα περιστροφής της γης (περίπου 15° την ώρα),
- α - πλάτος της ταλάντωσης του εκκρεμούς,

- l - μήκος του εκκρεμούς,
- φ - γεωγραφικό πλάτος.

Αν το πλάτος της ταλάντωσης (α) είναι αρκετά μικρότερο από το μήκος (l) τότε ο τύπος απλοποιείται σε:

$$\omega_{\omega} = \omega * \eta\mu(\varphi)$$

Από τον τύπο φαίνεται ότι στον ισημερινό δεν υπάρχει περιστροφή του εκκρεμούς καθώς το γεωγραφικό πλάτος είναι μηδέν και το ημίτονο της γωνίας είναι μηδέν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΙΚΟΝΕΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΟΙ ΕΞΗΣ ΠΗΓΕΣ:

<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fphysickaloni.wordpress.com%2F2014%2F04%2F24%2F%25CF%2580%25CE%25B5%25CF%2581%25CE%25B9%25CE%25BF%25CE%25B4%25CE%25B9%25CE%25BA%25CE%25B5%25CF%2583-%25CE%25BA%25CE%25B9%25CE%25BD%25CE%25B7%25CF%2583%25CE%25B5%25CE%25B9%25CF%2583-%25CE%25BF%25CE%25BC%25CE%25B1%25CE%25BB%25CE%25B7-%25CE%25BA%25CF%2585%25CE%25BA%25CE%25BB%25CE%25B9%25CE%25BA%25CE%25B7-%25CE%25BA%25CE%25B9%2F&psig=A0vVaw38Ls2nsmF9gpuPOjBLjKOi&ust=1609847262476000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCOiNl96bgu4CFQAAAAAdAAAAABAD>

<https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRMP4-HGwb9Y7DbtWLjKxQ70mQC8G77pc9nOA&usqp=CAU>

https://docplayer.gr/docs-images/53/9988915/images/page_11.jpg

<https://image.slidesharecdn.com/05-111204141124-phpapp01/95/05-8-728.jpg?cb=1323009765>

https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fvlikonet.files.wordpress.com%2F2020%2F03%2F1121.png&imgrefurl=https%3A%2F%2Fvlikonet.gr%2F2020%2F03%2F27%2F%25CE%25BF%25CE%25B9-%25CE%25B5%25CE%25BD%25CE%25AD%25CF%2581%25CE%25B3%25CE%25B5%25CE%25B9%25CE%25B5%25CF%2582-%25CF%2583%25CE%25B5-%25CE%25BC%25CE%25B9%25CE%25B1-%25CE%25B5%25CE%25BE%25CE%25B1%25CE%25BD%25CE%25B1%25CE%25B3%25CE%25BA%25CE%25B1%25CF%2583%25CE%25BC%25CE%25AD%25CE%25BD%25CE%25B7-%25CF%2584%25CE%25B1%25CE%25BB%2F&tbnid=uZg-1ymHUQr-wM&vet=12ahUKEwi97s_vpILuAhUM4RoKHXhyBTUQMygBegQIARB-.i&docid=do3E-k4h_cQAkM&w=606&h=399&q=%CE%A4%CE%BF%20%CF%83%CF%8E%CE%BC%CE%B1%20%CE%A3%20%CE%B5%CE%BA%CF%84%CE%B5%CE%BB%CE%B5%CE%AF%20%CE%B5%CE%BE%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CE%B3%CE%BA%CE%B1%CF%83%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CE%B7%20%CF%84%CE%B1%CE%BB%CE%AC%CE%BD%CF%84%CF%89%CF%83%CE%B7.&ved=2ahUKEwi97s_vpILuAhUM4RoKHXhyBTUQMygBegQIARB-

https://www.google.com/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fbooks.edu.gr%2Fbooks%2Fv%2Fhtml%2F8547%2F2728%2FFysiki-G-Lykeiou-ThSp_html-apli%2Fimages%2Fimg1_82.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Fbooks.edu.gr%2Fbooks%2Fv%2Fhtml%2F8547%2F2728%2FFysiki-G-Lykeiou-ThSp_html-apli%2Findex1_6.html&tbnid=e3FAfIL5w117qM&vet=12ahUKEwi97s_vpILuAhUM4RoKHXhyBTUQMyglegUIARCMQAQ..i&docid=6N33_4P0d1Lqhm&w=195&h=178&q=%CE%A4%CE%BF%20%CF%83%CF%8E%CE%BC%CE%B1%20%CE%A3%20%CE%B5%CE%BA%CF%84%CE%B5%CE%BB%CE%B5%CE%AF%20%CE%B5%CE%BE%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CE%B3%CE%BA%CE%B1%CF%83%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CE%B7%20%CF%84%CE%B1%CE%BB%CE%AC%CE%BD%CF%84%CF%89%CF%83%CE%B7.&ved=2ahUKEwi97s_vpILuAhUM4RoKHXhyBTUQMyglegUIARCMQAQ

https://www.google.com/imgres?imgurl=x-raw-image%3A%2F%2F6762e9896f9731547705581080be670c88b1a2ae4513c25a921e2a7890c743b&imgrefurl=http%3A%2F%2Fgenlab.physics.auth.gr%2F44_Ekkremes.pdf&tbnid=FXP5lpgudmwDpM&vet=12ahUKEwigvqDnwILuAhUFRhoKXHVLOB2gQMygCegUIARCVaQ..i&docid=n2MNE8hFPxtkLM&w=538&h=351&q=%CF%86%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%BF%20%CE%B5%CE%BA%CE%BA%CF%81%CE%B5%CE%BC%CE%B5%CF%82&ved=2ahUKEwigvqDnwILuAhUFRhoKXHVLOB2gQMygCegUIARCVaQ

https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fwww.tempo.gr%2Fimages%2Fstories%2Fimages3%2Ffoucault_8902121.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.tempo.gr%2Fmixed%2Ffarthrogramia%2F21267-i-agnioa-mou-gia-to-ekremes-tou-fouko&tbnid=ZeK0rwQGtudirM&vet=12ahUKEWjAggTsx4LuAhUUG-wKHYqFBnEQMyglegUIARCPAQ..i&docid=yR2EloEFIVhY1M&w=540&h=360&q=%CF%86%CE%BF%CF%85%CE%BA%CF%89%20%CE%B5%CE%BA%CE%BA%CF%81%CE%B5%CE%BC%CE%B5%CF%82&ved=2ahUKEWjAggTsx4LuAhUUG-wKHYqFBnEQMyglegUIARCPAQ

https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fpazari4all.gr%2Fproduct%2F%25CF%2584%25CE%25BF-%25CE%25B5%25CE%25BA%25CE%25BA%25CF%2581%25CE%25B5%25CE%25BC%25CE%25AD%25CF%2582-%25CF%2584%25CE%25BF%25CF%2585-%25CE%25BD%25CE%25B5%25CF%258D%25CF%2584%25CF%2589%25CE%25BD%25CE%25B1-newtons-cradle-balance-balls-medium%2F&psig=AOvVaw3mDLXW0cJ_aNXIP_iBG_n_&ust=1609866669005000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCNC48e_igu4CFQA_AAAAdAAAAABAV

ΓΙΑ ΤΙΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΑΜΕ ΤΑ ΕΞΗΣ:

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CE%B1%CE%BB%CE%AC%CE%BD%CF%84%CF%89%CF%83%CE%B7#%CE%A6%CE%B8%CE%AF%CE%BD%CE%BF%CF%85%CF%83%CE%B5%CF%82_%CE%BA%CE%B1%CE%B9_%CE%B5%CE%BE%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CE%B3%CE%BA%CE%B1%CF%83%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CE%B5%CF%82_%CF%84%CE%B1%CE%BB%CE%B1%CE%BD%CF%84%CF%8E%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82

http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/html/8547/2728/Fysiki-G-Lykeiou-ThSp_html-apli/index1_3.html

http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/html/8547/2728/Fysiki-G-Lykeiou-ThSp_html-apli/index1_5.html

http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/html/8547/2728/Fysiki-G-Lykeiou-ThSp_html-apli/index1_6.html

http://bdoukatzis.ucoz.net/talantvseis/a030_fthinouses_tal.pdf

http://bdoukatzis.ucoz.net/talantvseis/a040_ejanagkasmenes_tal.pdf

http://mycourses.ntua.gr/courses/METAL1010/document/%C4%C9%C1%D6%C1%CD%C5%C9%C5%D3/%D4%C1%CB%C1%CD%D4%D9%D3%C5%C9%D3_%C9.pdf

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CE%BA%CE%BA%CF%81%CE%B5%CE%BC%CE%AD%CF%82_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CE%A6%CE%BF%CF%85%CE%BA%CF%8E

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CE%BA%CE%BA%CF%81%CE%B5%CE%BC%CE%AD%CF%82_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CE%9D%CE%B5%CF%8D%CF%84%CF%89%CE%BD%CE%B1