

ΦΥΣΙΚΗ

**Ομάδας Προσανατολισμού
Θετικών Σπουδών
και Σπουδών Υγείας**

**Γ' τάξη
Γενικού Λυκείου**

ΤΟΜΟΣ 6ος

**Σημείωση: Στο Ευρετήριο Όρων τα
γράμματα Α, Β, Γ,..., Θ δηλώνουν
αντίστοιχα τον 1ο, 2ο, 3ο,...,9ο τόμο.**

**ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ,
ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ
ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ**

**Α. ΙΩΑΝΝΟΥ - Γ. ΝΤΑΝΟΣ
Α. ΠΗΤΤΑΣ - Σ. ΡΑΠΤΗΣ**

**Η συγγραφή και η επιστημονική επι-
μέλεια του βιβλίου πραγματοποιήθη-
κε υπό την αιγίδα του Παιδαγωγικού
Ινστιτούτου**

ΦΥΣΙΚΗ

**Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών
Σπουδών και Σπουδών Υγείας**

**Γ' τάξη
Γενικού Λυκείου**

ΤΟΜΟΣ 6ος

Ι. Τ. Υ. Ε. «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΚΔΟΣΗΣ

Συγγραφείς:

**Αλέκος Ιωάννου, Γιάννης Ντάνος
Άγγελος Πήττας, Σταύρος Ράπτης**

Κριτές:

**Αντωνίου Νικόλαος, καθηγητής Πα-
νεπιστημίου Αθηνών, ως πρόεδρος
Ευθυμιόπουλος Θωμάς, Αν. Καθη-
γητής Πανεπιστημίου Κρήτης**

**Αρναουτάκης Ιωάννης, Σχολικός
Σύμβουλος ΠΕ04 Δ/θμιας Εκ/σης**

**Καρανίκας Ιωάννης, Σχολικός
Σύμβουλος ΠΕ04 Δ/θμιας Εκ/σης**

**Πρίντζας Γεώργιος, Σχολικός Σύμ-
βουλος ΠΕ04 Δ/θμιας Εκ/σης**

**Κοτρόζου Αικατερίνη, Φυσικός,
M.Sc. Καθηγήτρια Δ/θμιας Εκ/σης**

**Φωτάκης Ιωάννης, Καθηγητής
ΠΕ04 Δ/θμιας Εκ/σης».**

Ε.Π.Ε.Α.Ε.Κ.

**Υποπρόγραμμα 1: ΓΕΝΙΚΗ ΚΑΙ ΤΕ-
ΧΝΙΚΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ**

**Μέτρο 1.1: ΑΝΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΡΟ-
ΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΓΕΝΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥ-
ΣΗΣ**

Ενέργεια 1.1α: Προγράμματα-βιβλία

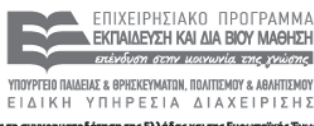
**ΕΡΓΟ: ΑΝΑΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΚΑΙ ΕΚΣΥΓ-
ΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ-
ΤΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙ-
ΣΤΗΜΩΝ ΜΕ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΠΑΡΑΓΩ-
ΓΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ**

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΑΝΕΚΔΟΣΗΣ

Η επανέκδοση του παρόντος βιβλίου πραγματοποιήθηκε από το Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών & Εκδόσεων «Διόφαντος» μέσω ψηφιακής μακέτας, η οποία δημιουργήθηκε με χρηματοδότηση από το ΕΣΠΑ / ΕΠ «Εκπαίδευση & Διά Βίου Μάθηση» / Πράξη «ΣΤΗΡΙΖΩ».



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Οι διορθώσεις πραγματοποιήθηκαν κατόπιν έγκρισης του Δ.Σ. του Ινστιτούτου Εκπαιδευτικής Πολιτικής

**Η αξιολόγηση, η κρίση
των προσαρμογών και
η επιστημονική επιμέλεια
του προσαρμοσμένου βιβλίου
πραγματοποιείται από τη Μονάδα
Ειδικής Αγωγής του Ινστιτούτου
Εκπαιδευτικής Πολιτικής.**

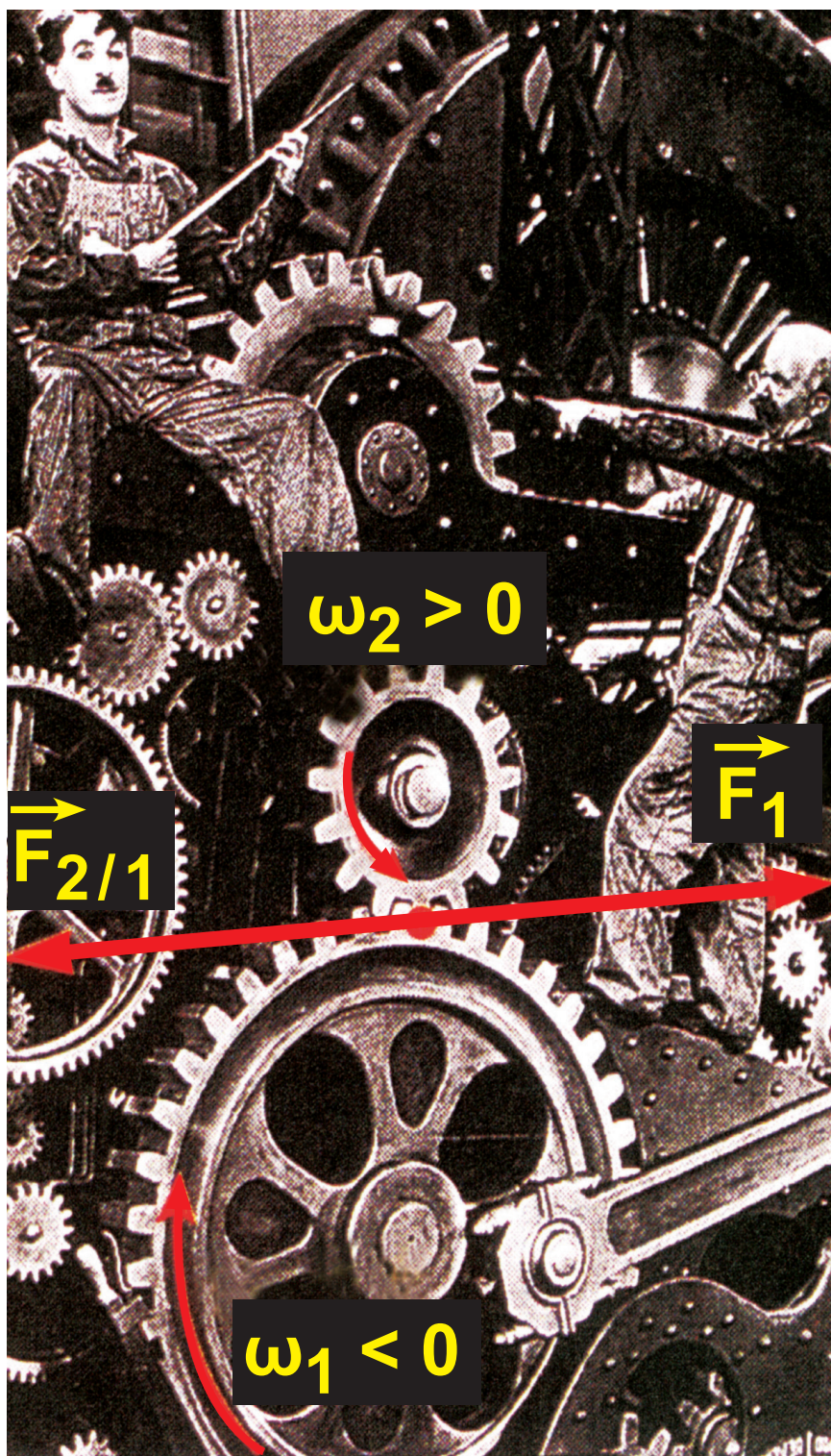
**Η προσαρμογή του βιβλίου
για μαθητές με μειωμένη όραση
από το ΙΤΥΕ – ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ
πραγματοποιείται με βάση
τις προδιαγραφές που έχουν
αναπτυχθεί από ειδικούς
εμπειρογνώμονες για το ΙΕΠ.**

**ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΒΙΒΛΙΟΥ
ΓΙΑ ΜΑΘΗΤΕΣ
ΜΕ ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΟΡΑΣΗ**

ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ



(4 ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ)



**Ροπή
δύναμης**

**Ισορροπία
στερεού**

**Ροπή
αδράνειας**

Στροφορμή

**Κινητική
ενέργεια
λόγω περι-
στροφής**

Σύνοψη

Ασκήσεις

Σύνοψη

Η **γωνιακή επιτάχυνση** είναι ίση με το ρυθμό μεταβολής της γωνιακής ταχύτητας.

$$\alpha_{\text{γων}} = \frac{d\omega}{dt}$$

Ροπή δύναμης F , ως προς άξονα περιστροφής ονομάζεται το διανυσματικό μέγεθος που έχει μέτρο

$$\tau = F\ell$$

όπου ℓ η κάθετη απόσταση της δύναμης από τον άξονα περιστροφής, διεύθυνση αυτή του άξονα περιστροφής και φορά που δίνεται από τον κανόνα του δεξιού χεριού. Η μονάδα ροπής είναι το **1 Nm**.

Ροπή δύναμης F ως προς σημείο O ονομάζεται το διανυσματικό μέγεθος που έχει μέτρο $\tau = F\ell$ όπου ℓ

απόσταση του σημείου από το φορέα της δύναμης, μονάδα το 1Nm , διεύθυνση κάθετη στο επίπεδο που ορίζεται από τη δύναμη και το σημείο O και φορά που δίνεται από τον κανόνα του δεξιού χεριού.

Για να ισορροπεί ένα ακίνητο στερεό πρέπει

$$\Sigma F = 0 \quad \text{ή} \quad \begin{matrix} \Sigma F_x = 0 \\ \Sigma F_y = 0 \end{matrix} \quad \text{και} \quad \Sigma \tau = 0$$

Ροπή αδράνειας ενός στερεού ως προς κάποιο άξονα ονομάζεται το άθροισμα των γινομένων των στοιχειωδών μαζών από τις οποίες αποτελείται το σώμα επί τα τετράγωνα των αποστάσεών τους από τον άξονα περιστροφής

$$I = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \dots$$

Ο θεμελιώδης νόμος της στροφικής κίνησης είναι

$$\Sigma \tau = I \alpha_{\gamma\omega\nu}$$

Στροφορμή υλικού σημείου – που κινείται κυκλικά – ως προς τον άξονα που διέρχεται από το κέντρο της κυκλικής τροχιάς και είναι κάθετος στο επίπεδό της ονομάζεται το διανυσματικό μέγεθος που έχει μέτρο

$$L = pr \text{ ή } L = mur$$

διεύθυνση τη διεύθυνση του άξονα και φορά που καθορίζεται από τον κανόνα του δεξιού χεριού. Η μονάδα στροφορμής είναι το **$1\text{kg m}^2/\text{s}$** .

Στροφορμή στερεού σώματος – που στρέφεται γύρω από άξονα – είναι η συνισταμένη των στροφορμών των στοιχειωδών μαζών από τις οποίες αποτελείται το στερεό. Η στροφορμή στερεού είναι ίση με

$$L = I \omega$$

Η στροφορμή ενός συστήματος διατηρείται σταθερή εάν η συνολική εξωτερική ροπή στο σύστημα είναι μηδέν.

Ο δεύτερος νόμος του Newton στη στροφική κίνηση είναι

$$\Sigma \tau = \frac{dL}{dt}$$

Η κινητική ενέργεια στερεού λόγω περιστροφής είναι

$$K = \frac{1}{2} I \omega^2$$

Το έργο μιας σταθερής ροπής κατά τη στροφή ενός στερεού κατά γωνία θ είναι

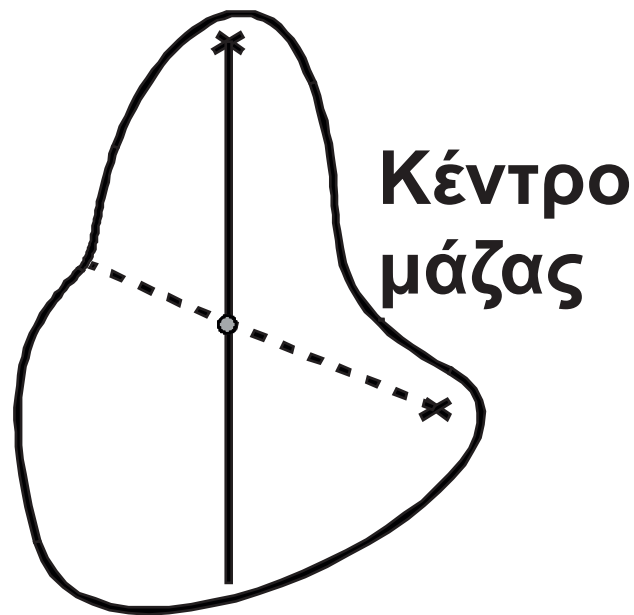
$$W = \tau \theta$$

Η ισχύς μιας ροπής είναι $P = \tau \omega$

Το θεώρημα έργου - ενέργειας στη στροφική κίνηση γράφεται

$$\Sigma W = \frac{1}{2} I \omega_2^2 - \frac{1}{2} I \omega_1^2$$

Δραστηριότητες



Σχήμα 4-37.

1. Βρείτε το κέντρο μάζας ενός σώματος δύο διαστάσεων.

Κόψτε ένα χαρτόνι που δεν έχει γεωμετρικό σχήμα και αναρτήστε το από ένα σημείο του. Όταν ισορροπήσει το χαρτόνι χαράξτε πάνω του την κατακόρυφη που περνάει από το σημείο ανάρτησης. Επειδή το

αλγεβρικό άθροισμα των ροπών πρέπει να είναι μηδέν, το κέντρο μάζας του χαρτονιού θα βρίσκεται σ' αυτή την κατακόρυφη. Στη συνέχεια κρεμάστε το σώμα από ένα δεύτερο σημείο και επαναλάβετε τα ίδια. Το κέντρο μάζας βρίσκεται στο σημείο τομής των δύο γραμμών.

2. Κατασκευάστε μια ζυγαριά.

Κόψτε ένα χαρτόνι σε σχήμα τετραγώνου. Κρεμάστε το σε ένα καρφί που περνάει από το σημείο **Ο** **σχήμα 4.38α**, ώστε να μπορεί να στρέφεται ελεύθερα. Στο ίδιο καρφί κρεμάστε και ένα ευθύγραμμο σύρμα που θα δείχνει τη διεύθυνση της κατακόρυφης. Στερεώστε στο ένα άκρο του χαρτονιού ένα αντίβαρο γνωστής μάζας (**M**) και στο άλλο ένα συνδετήρα ώστε να μπορείτε

να κρεμάσετε μικρά αντικείμενα (σχ. 4.38β). Σημειώστε πάνω στο χαρτόνι την κατακόρυφη όπως ορίζεται από το σύρμα. Ξεκρεμάστε το χαρτόνι και με ένα μοιρογνωμόνιο χαράξτε πάνω του κλίμακα για τη μέτρηση γωνιών. Το μηδέν της κλίμακας να αντιστοιχεί στη γραμμή που χαράξατε με βάση το σύρμα. Στερεώστε πάλι το χαρτόνι. Αν από το συνδετήρα κρεμάσετε ένα μικρό αντικείμενο άγνωστης μάζας μπορείτε να υπολογίσετε τη μάζα του.

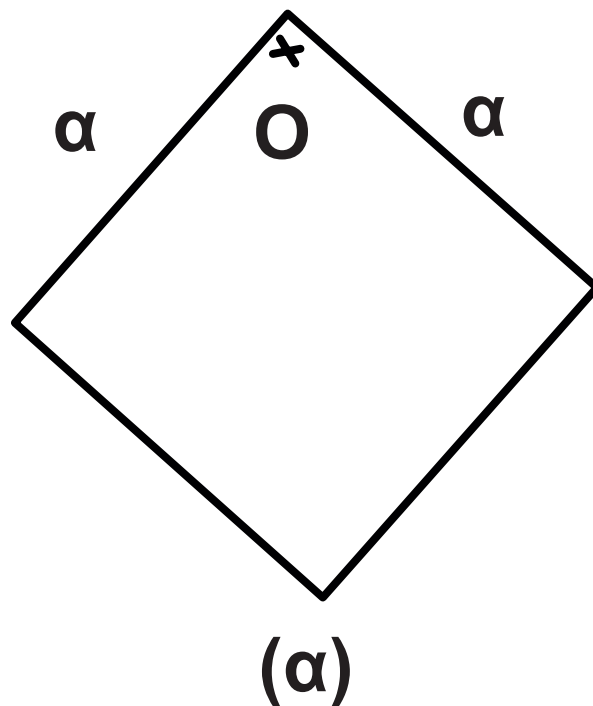
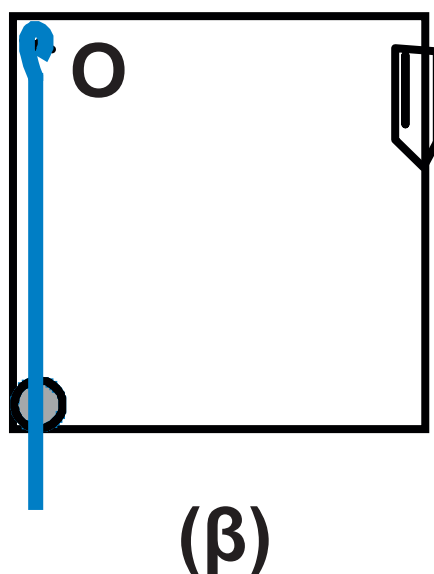
Στη θέση ισορροπίας το αλγεβρικό άθροισμα των ροπών ως προς το O είναι μηδέν.

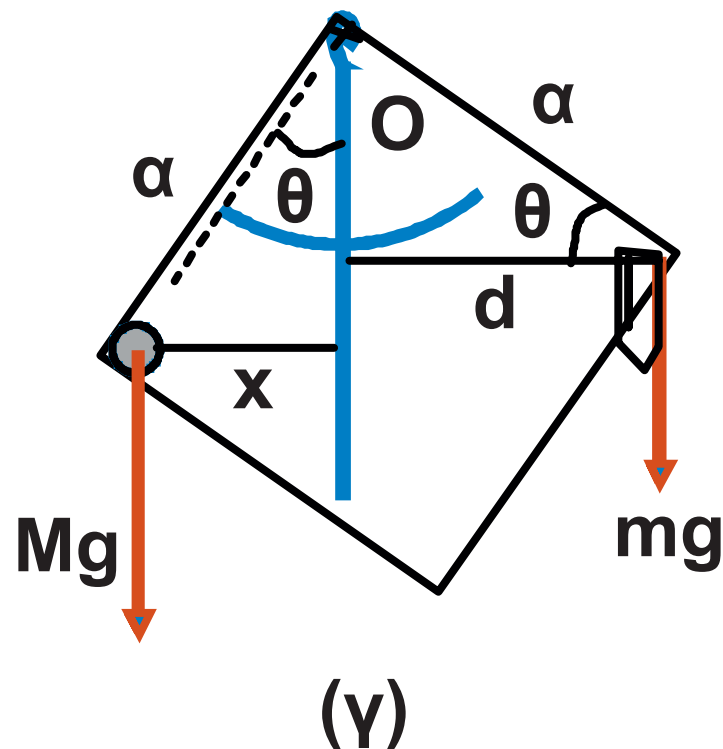
$$Mgx - mgd = 0 \quad \text{ή}$$

$$Mg \alpha \eta \mu \theta - mg \alpha \sigma \upsilon \nu \theta = 0$$

$$\text{ΟΠΟΤΕ } m = M \epsilon \phi \theta$$

Με την προϋπόθεση ότι η μάζα του χαρτονιού είναι μικρή, αν γνωρίζουμε τη μάζα M και μετρήσουμε τη γωνία κατά την οποία στρέφεται το χαρτόνι μπορούμε να υπολογίσουμε τη μάζα m .





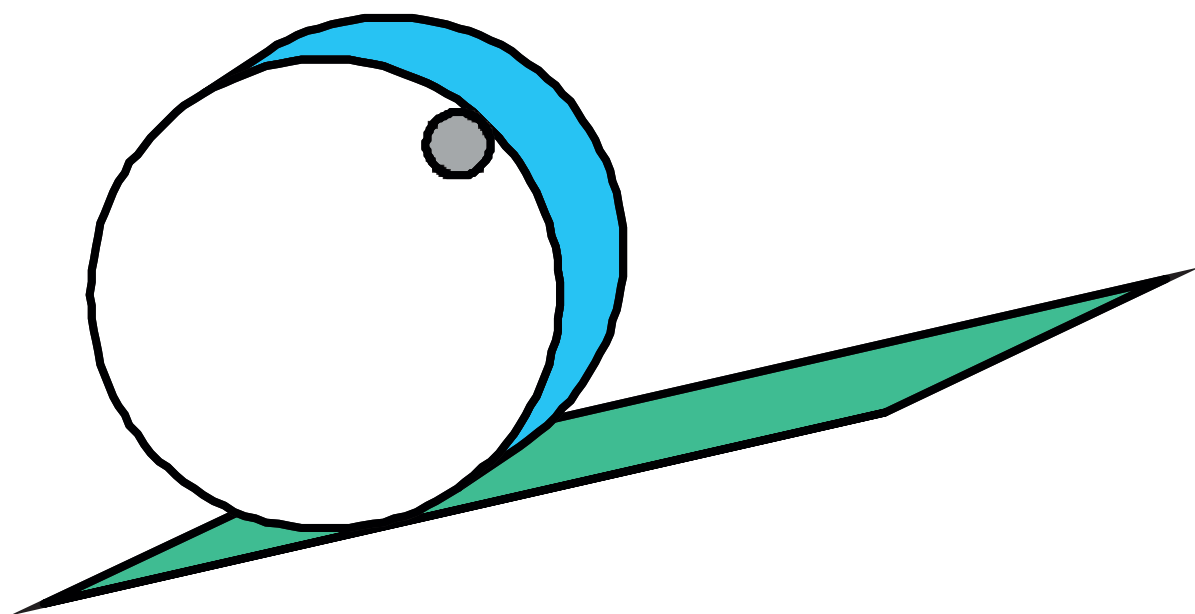
Σχήμα 4-38.

3. Ένας κύλινδρος που «αψηφά» τη βαρύτητα.

Κολλήστε στο εσωτερικό ενός κυλινδρικού κουτιού μεγάλης διαμέτρου μια μικρή μεταλλική ράβδο, παράλληλα με τον άξονα του κουτιού. Αφού σημειώσετε τη θέση της στο εξωτερικό μέρος του κλείστε το κουτί.

Μπορείτε να κάνετε τους φίλους σας να τα χάσουν, νομίζοντας ότι το κουτί δεν ακολουθεί τους γνωστούς νόμους της φύσης:

Τοποθετήστε τον κύλινδρο σε πλάγιο επίπεδο με μικρή κλίση, όπως δείχνει το σχήμα και αφήστε τον ελεύθερο. Για λίγο ο κύλινδρος πηγαίνει προς τα επάνω. Πώς εξηγείται αυτό;

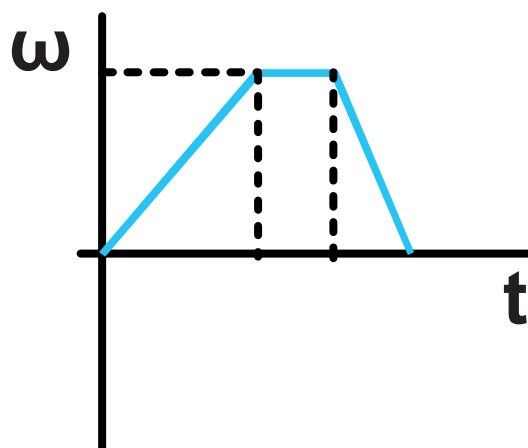


Σχήμα 4-39.

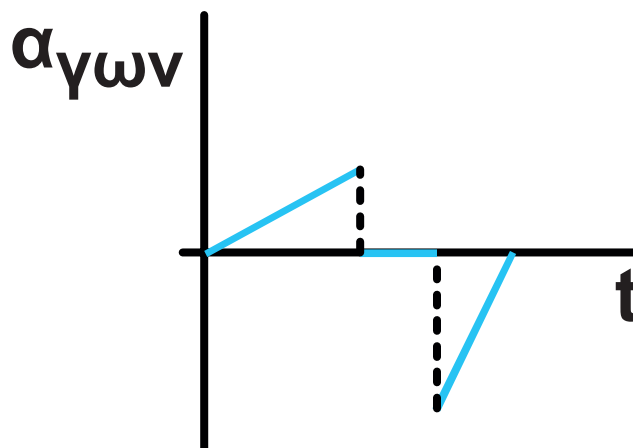
Ερωτήσεις

Κινηματική της περιστροφής

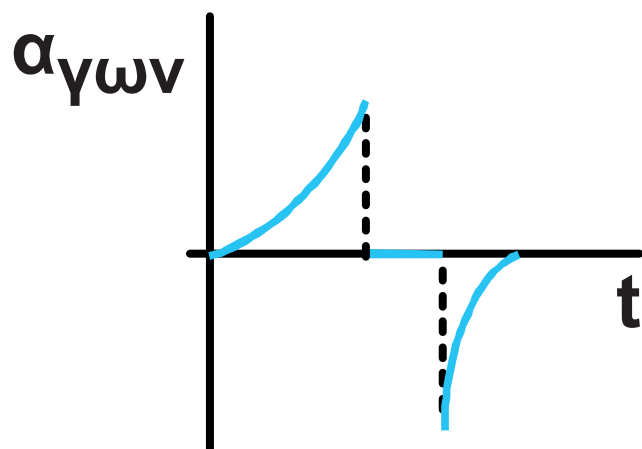
4.1 Η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής ενός τροχού μεταβάλλεται με το χρόνο όπως φαίνεται στο **σχ. 4.40α**. Ποιο από τα διαγράμματα **β, γ, δ, ε** παριστάνει τη γωνιακή επιτάχυνση του τροχού σε συνάρτηση με το χρόνο;



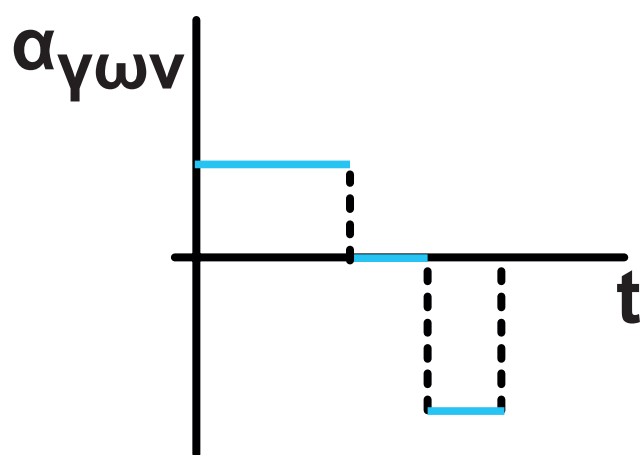
(α)



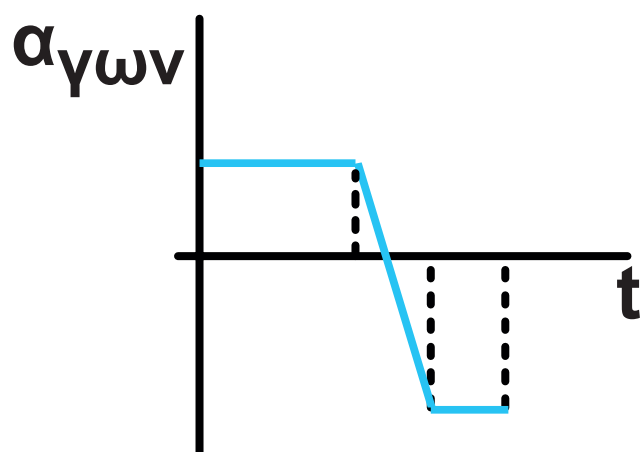
(β)



(γ)



(δ)



(ε)

Σχήμα 4-40.

**4.2 Ένα σώμα κάνει ομαλή στρο-
φική κίνηση. Ποια είναι η γω-
νιακή του επιτάχυνση;**

**4.3 Ένας δίσκος στέφεται γύρω
από άξονα που διέρχεται από
το κέντρο του και είναι κάθετος
στο επίπεδό του. Η γωνιακή
ταχύτητα του δίσκου σε συνάρτη-
ση με το χρόνο παριστάνεται στο
διάγραμμα του **σχήματος 4.41**.
Ποια από τις προτάσεις που ακο-
λουθούν είναι σωστή;**

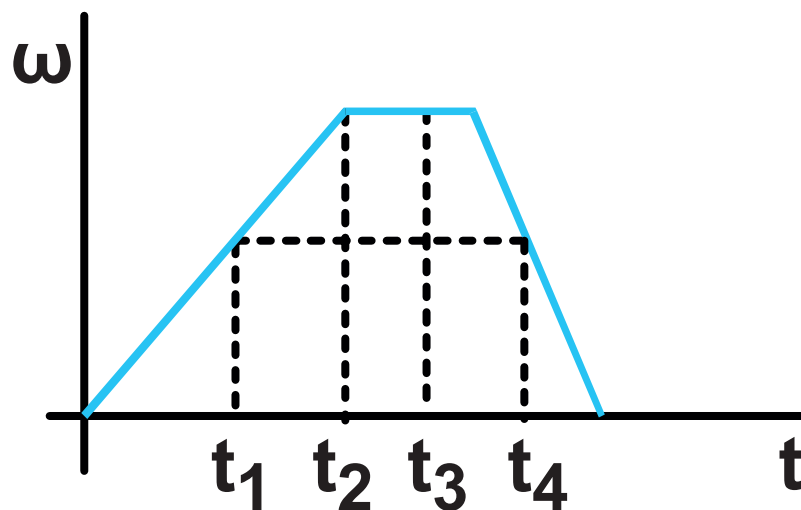
**α) Η γωνιακή επιτάχυνση το χρο-
νικό διάστημα $t_1 - t_2$ αυξάνε-
ται.**

**β) Το μέτρο της γωνιακής επιτά-
χυνσης τη χρονική στιγμή t_4
είναι μικρότερο απ' ό,τι τη χρο-
νική στιγμή t_1 .**

γ) Τη χρονική στιγμή t_1 το

διάνυσμα της γωνιακής επιτάχυνσης έχει αντίθετη κατεύθυνση από την κατεύθυνση που έχει τη χρονική στιγμή t_4 .

δ) Τη χρονική στιγμή t_3 η γωνιακή επιτάχυνση έχει μέτρο μεγαλύτερο απ' ό,τι τη χρονική στιγμή t_1 .



Σχήμα 4-41.

4.4 Ένα στερεό στρέφεται γύρω από σταθερό άξονα. Θεωρήστε δύο στοιχειώδεις μάζες του σώματος σε διαφορετικές

αποστάσεις από τον άξονα περιστροφής. Ποια από τα μεγέθη α) γραμμική ταχύτητα β) γωνιακή ταχύτητα γ) γωνιακή επιτάχυνση και δ) κεντρομόλος επιτάχυνση, έχουν την ίδια τιμή για τις δύο μάζες;

4.5 Είναι δυνατό ένα σώμα να έχει, μια χρονική στιγμή, γωνιακή ταχύτητα μηδέν και γωνιακή επιτάχυνση διαφορετική από μηδέν;

4.6 Ένα στερεό κάνει σύνθετη κίνηση. Υπάρχει κάποιο σημείο του στερεού, έξω από τον άξονα περιστροφής του, που έχει πάντα την ίδια ταχύτητα με το κέντρο μάζας; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.

Ροπή - ισορροπία στερεού

4.7 Συμπληρώστε τα κενά:

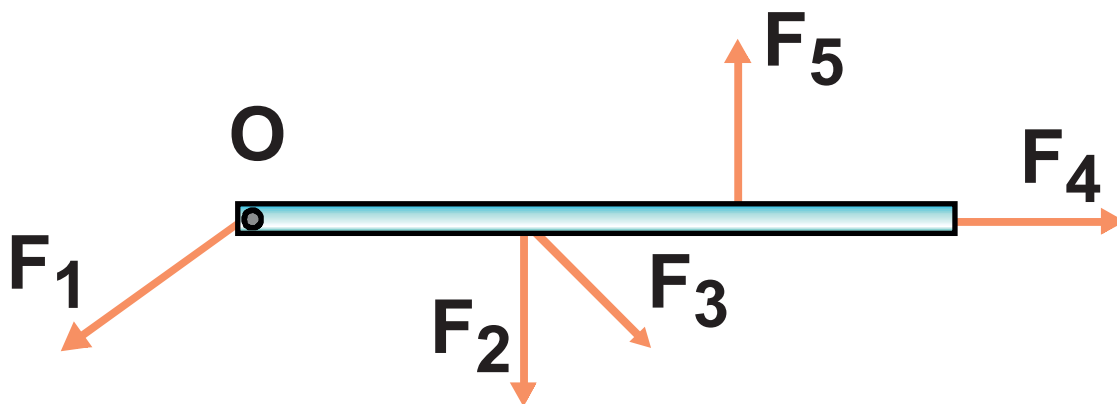
Η ροπή δύναμης ως προς σημείο έχει μέτρο ίσο με το γινόμενο του μέτρου της δύναμης επί.....

....., διεύθυνση που είναι κάθετη στο επίπεδο που ορίζεται από και φορά που ορίζεται από

4.8 Τα λεωφορεία και τα μεγάλα φορτηγά έχουν τιμόνι μεγάλης διαμέτρου. Τι εξυπηρετεί αυτό;

4.9 Στη ράβδο του σχήματος 4.42 ασκούνται πέντε ομοεπίπεδες δυνάμεις του ίδιου μέτρου. Η ράβδος μπορεί να στρέφεται γύρω από άξονα που διέρχεται

από το σημείο **O** και είναι κάθετος στο επίπεδο των δυνάμεων. Να κατατάξετε τις δυνάμεις κατά τη σειρά με την οποία το μέτρο της ροπής τους ως προς τον άξονα αυτόν αυξάνεται.



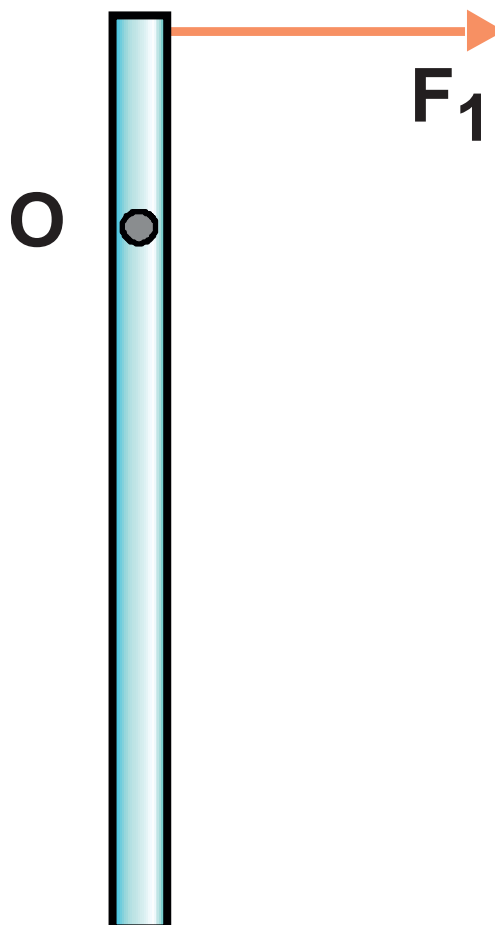
Σχήμα 4-42.

4.10 Η ράβδος του **σχήματος 4.43** είναι κατακόρυφη και μπορεί να στρέφεται γύρω από οριζόντιο άξονα που διέρχεται από το σημείο **O**. Στο ένα άκρο της ράβδου

ασκείται η οριζόντια δύναμη F_1 .
Για να μη στρέφεται η ράβδος
ασκούμε οριζόντια δύναμη F_2
στο άλλο άκρο της.

α) Ποια πρέπει να είναι η κατεύ-
θυνση της F_2 ;

β) Συγκρίνετε τα μέτρα των F_1
και F_2 .



Σχήμα 4-43.

4.11 το **σχήμα 4.44** φαίνεται μια οριζόντια ράβδος που μπορεί να στρέφεται γύρω από κατακόρυφο άξονα ο οποίος διέρχεται από το σημείο **O**. Στα δύο άκρα της ράβδου ασκούνται οι οριζόντιες δυνάμεις **F_1** και **F_2** κάθετες σε αυτήν. Η ράβδος παραμένει ακίνητη. Η απόσταση της δύναμης **F_1** από τον άξονα περιστροφής είναι ίση με τα $\frac{2}{3}$ του μήκους της ράβδου. Το μέτρο της δύναμης **F_2** είναι



Σχήμα 4-44.

α) $\frac{F_1}{2}$

β) $\frac{2F_1}{3}$

γ) $\frac{F_1}{3}$

δ) $2F_1$

ε) $\frac{3F_1}{2}$

στ) $3F_1$

Επιλέξτε τη σωστή απάντηση.

Ροπή αδράνειας

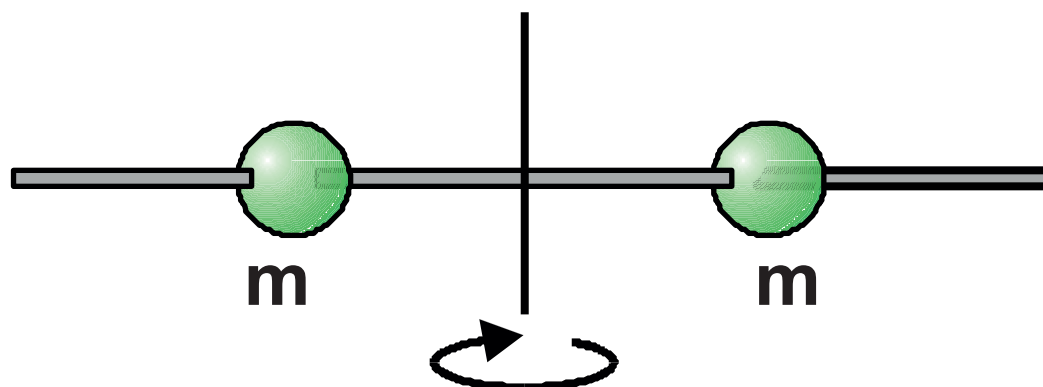
4.12 Η ράβδος του σχήματος 4.45 είναι αβαρής και οι μάζες m απέχουν το ίδιο από τον άξονα περιστροφής. Αν η απόσταση των μαζών από τον άξονα περιστροφής διπλασιαστεί, η ροπή αδράνειας του συστήματος

α) παραμένει ίδια.

β) διπλασιάζεται.

γ) τριπλασιάζεται.

δ) τετραπλασιάζεται.

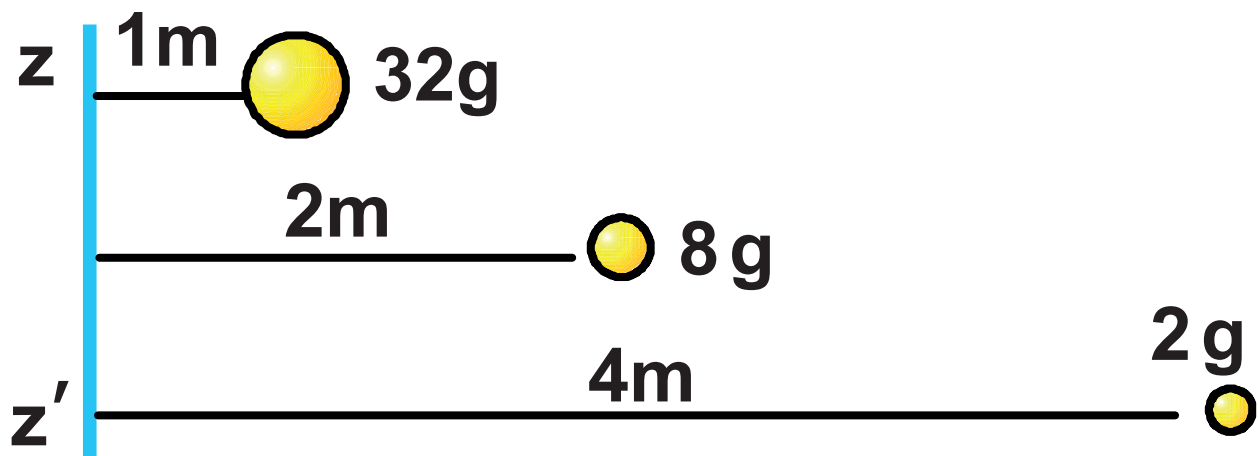


Σχήμα 4-45.

4.13 Ένας τροχός αυτοκινήτου και ένας τροχός ποδηλάτου περιστρέφονται, χωρίς τριβές, γύρω από τον άξονά τους με την ίδια γωνιακή ταχύτητα. Ποιος από τους δύο τροχούς ακινητοποιείται πιο εύκολα; Δικαιολογήστε την απάντησή σας.

4.14 Στο [σχήμα 4.46](#) φαίνονται τρία υλικά σημεία που περιστρέφονται γύρω από τον άξονα $z'z$. Η μάζα και η απόσταση καθενός από τον άξονα περιστροφής

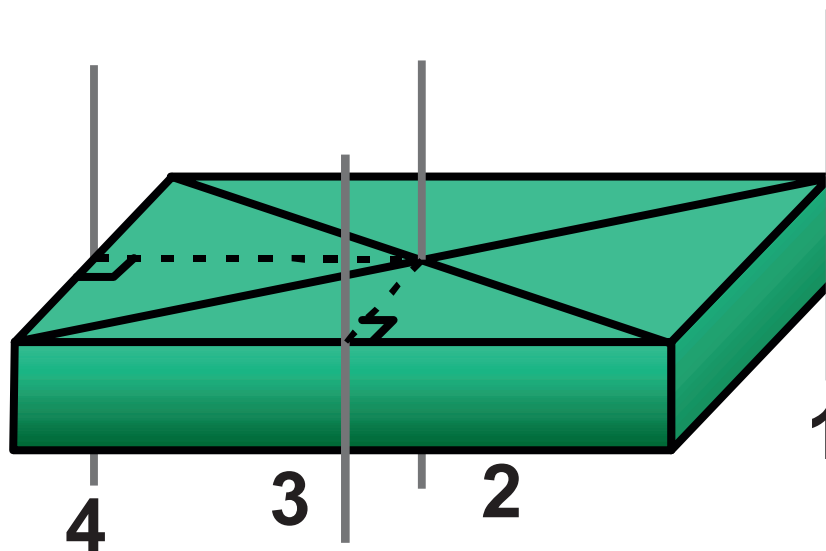
φαίνονται στο σχήμα. Να συγκρίνετε τις ροπές αδράνειάς τους ως προς τον άξονα $z'z$.



Σχήμα 4-46.

4.15 Η ροπή αδράνειας ενός στερεού ως προς άξονα που διέρχεται από το κέντρο μάζας του είναι μικρότερη από τη ροπή αδράνειάς του ως προς οποιονδήποτε άλλο άξονα που είναι παράλληλος σ' αυτόν. Πώς προκύπτει αυτό;

4.16 Γράψτε με αύξουσα σειρά τις ροπές αδράνειας I_1 , I_2 , I_3 και I_4 του ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου ως προς τους παράλληλους άξονες 1, 2, 3 και 4 (σχ. 4.47)



Σχήμα 4-47.

Θεμελιώδης νόμος της περιστροφής

4.17 Η γωνιακή επιτάχυνση ενός στερεού που στρέφεται γύρω από σταθερό άξονα είναι

- α) ανάλογη με τη ροπή αδράνειας του στερεού ως προς τον άξονα περιστροφής.
β) ανάλογη με τη μάζα του σώματος.
γ) ανάλογη με τη δύναμη που ασκείται στο σώμα.
δ) ανάλογη με τη ροπή που ασκείται στο σώμα.
Επιλέξτε τη σωστή απάντηση.

4.18 Στο **σχήμα 4.48** βλέπουμε την τομή μιας πόρτας με το οριζόντιο επίπεδο. Η πόρτα αποτελείται από δύο διαφορετικά υλικά. Το υλικό 1 έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το υλικό 2. Τα δύο υλικά καταλαμβάνουν τον ίδιο χώρο. Από ποια μεριά πρέπει να τοποθετηθούν οι μεντεσέδες ώστε η πόρτα να ανοίγει και να

κλείνει πιο εύκολα; Δικαιολογήστε την απάντησή σας.

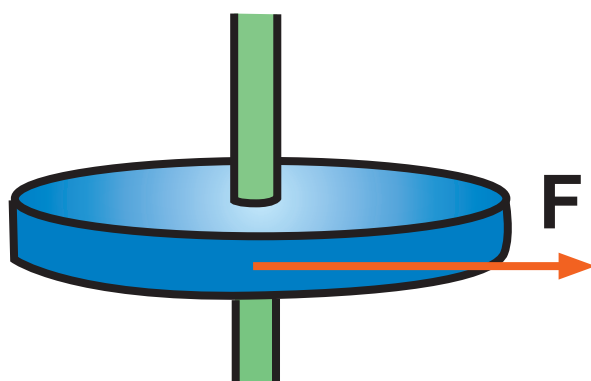


Σχήμα 4-48.

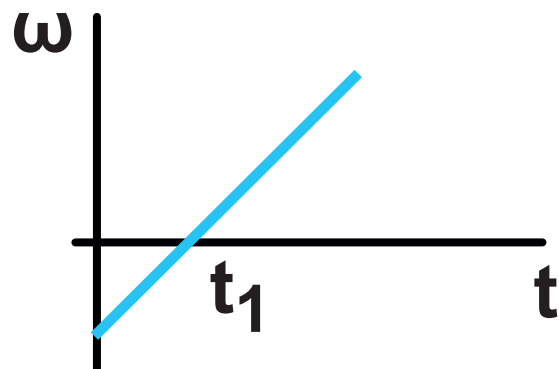
4.19 Ο οριζόντιος δίσκος του **σχήματος 4.49α** μπορεί να στρέφεται γύρω από σταθερό άξονα που διέρχεται από το κέντρο του και είναι κάθετος σ' αυτόν. Στο δίσκο ασκείται οριζόντια δύναμη **F** που εφαπτεται στο δίσκο. Η δύναμη **F** μεταβάλλει τη γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του δίσκου όπως φαίνεται στο **διάγραμμα 4.49β**.

Ποιες από τις επόμενες προτάσεις είναι σωστές;

- α) Η γωνιακή επιτάχυνση είναι σταθερή.
- β) Τη χρονική στιγμή t_1 που η γωνιακή ταχύτητα είναι μηδέν, η δύναμη F είναι μηδέν.
- γ) Η ροπή της δύναμης αυξάνεται με το χρόνο.
- δ) Η δύναμη F έχει σταθερό μέτρο.



(α)



(β)

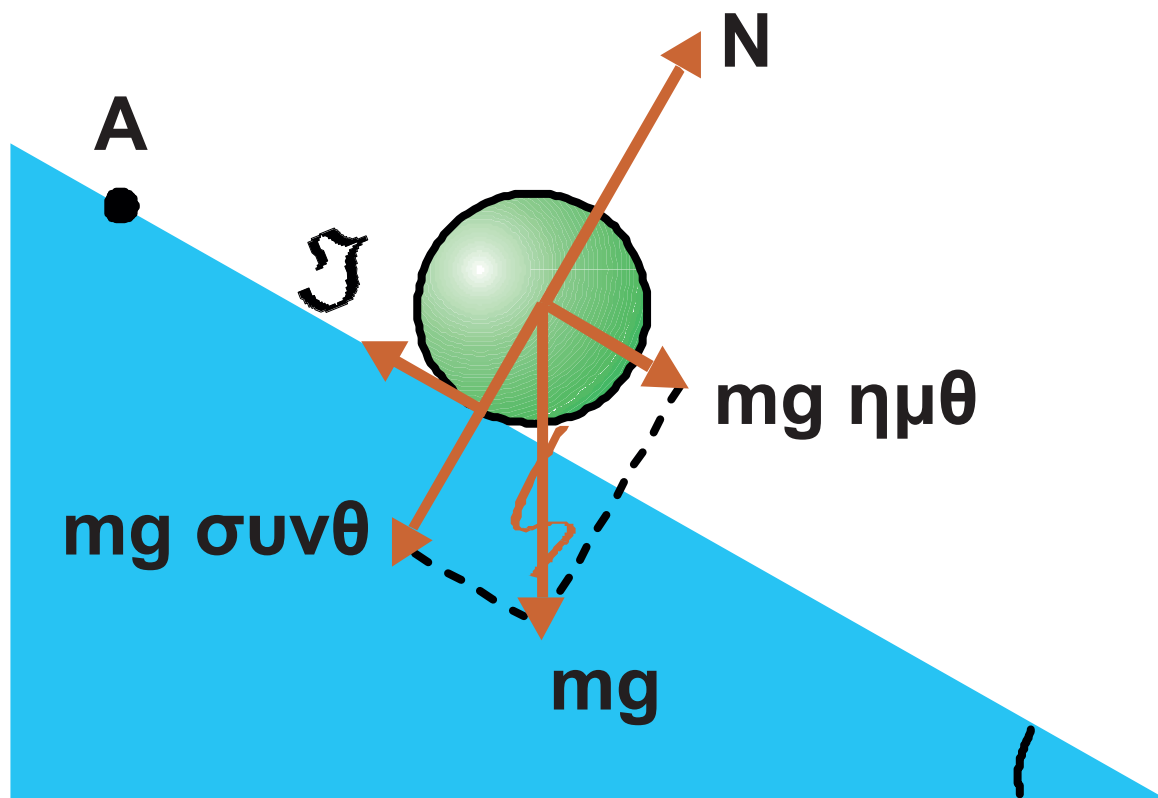
Σχήμα 4-49.

4.20 Μια σφαίρα αφήνεται στο σημείο **A** πλάγιου επιπέδου και κυλίνεται χωρίς ολίσθηση προς τη βάση του (σχ. 4.50). Κατά την κίνησή της αυξάνεται τόσο η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής όσο και η ταχύτητα του κέντρου μάζας της, επομένως η σφαίρα αποκτά και γωνιακή και γραμμική επιτάχυνση. Ποιες δυνάμεις είναι υπεύθυνες

α) για το ότι η σφαίρα δεν ολισθαίνει.

β) για τη γωνιακή επιτάχυνση της σφαίρας.

γ) για τη γραμμική επιτάχυνσή της.

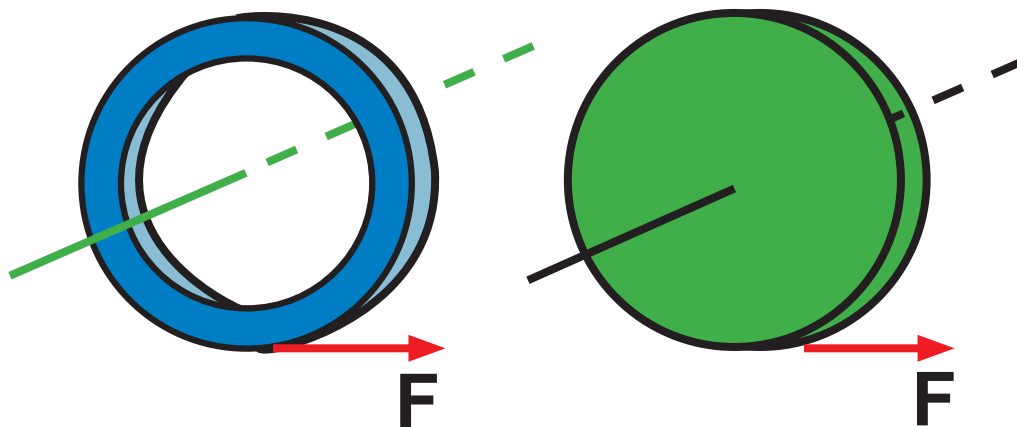


Σχήμα 4-50.

Στροφορμή - διατήρησης της στροφορμής

4.21 Ένα αυτοκίνητο κινείται προς το Βορρά, σε οριζόντιο δρόμο. Ποια είναι η κατεύθυνση της στροφορμής των τροχών του;

4.22 Το **σχήμα 4.51** δείχνει ένα συμπαγή κυκλικό δίσκο και ένα κυκλικό δακτύλιο που έχουν την ίδια ακτίνα και την ίδια μάζα και μπορούν να στρέφονται γύρω από οριζόντιο άξονα. Τη στιγμή μηδέν, που τα δύο σώματα είναι ακίνητα, ασκούνται σ' αυτά δυνάμεις του ίδιου μέτρου, εφαπτόμενες στην περιφέρειά τους. Να συγκρίνετε τις στροφορμές τους τη χρονική στιγμή t .



Σχήμα 4-51.

4.23 Η στροφορμή ενός συστήματος σωμάτων δε μεταβάλλεται όταν

α) η συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται στο σώμα είναι μηδέν.

β) τα σώματα κάνουν μόνο περιστροφική κίνηση.

γ) οι άξονες περιστροφής των σωμάτων είναι σταθεροί.

δ) το αλγεβρικό άθροισμα των ροπών των εξωτερικών δυνάμεων είναι μηδέν.

Επιλέξτε το σωστό.

4.24 Ένας καλλιτέχνης του πατινάζ περιστρέφεται. Στην αρχή ο καλλιτέχνης έχει τα χέρια απλωμένα και στη συνέχεια τα συμπύσσει.

Ποια από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι σωστή;

α) Η ροπή αδράνειάς του ως

προς τον άξονα περιστροφής του αυξάνεται.

β) Η στροφορμή του αυξάνεται.

γ) Η συχνότητα περιστροφής του αυξάνεται.

δ) Ο καλλιτέχνης παύει να περιστρέφεται.

4.25 Αν έλιωναν οι πολικοί πάγοι, θα ανέβαινε λίγο η στάθμη της θάλασσας. Τι επίπτωση θα είχε αυτό στη συχνότητα περιστροφής της Γης γύρω από τον άξονά της; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.

4.26 Ένα παιδί κάθεται σε κάθισμα το οποίο μπορεί να στρέφεται χωρίς τριβές. Στα χέρια του κρατάει κατακόρυφα τον άξονα ενός τροχού ποδηλάτου. Ο τροχός στρέφεται. Αρχικά το παιδί και το κάθισμα είναι ακίνητα. Τι θα

συμβεί, αν το παιδί στρέψει τον άξονα κατά 180° ; Εάν πραγματοποιούσατε το πείραμα, θα διαπιστώννατε ότι η δύναμη που απαιτείται για να γυρίσει ανάποδα ο τροχός, όταν στρέφεται, είναι πολύ μεγαλύτερη από τη δύναμη που θα χρειαζόταν αν ήταν ακίνητος. Πώς το εξηγείτε;

4.27 Ο οριζόντιος δίσκος 1 (σχ. 4.52) στρέφεται με γωνιακή ταχύτητα ω , γύρω από κατακόρυφο άξονα που διέρχεται από το κέντρο μάζας του. Πάνω στο δίσκο αφήνονται να πέσουν οι δίσκοι 2 και 3 οι οποίοι είναι όμοιοι με τον 1. Η γωνιακή ταχύτητα με την οποία θα περιστρέφεται το σύστημα θα είναι:

α) ω ,

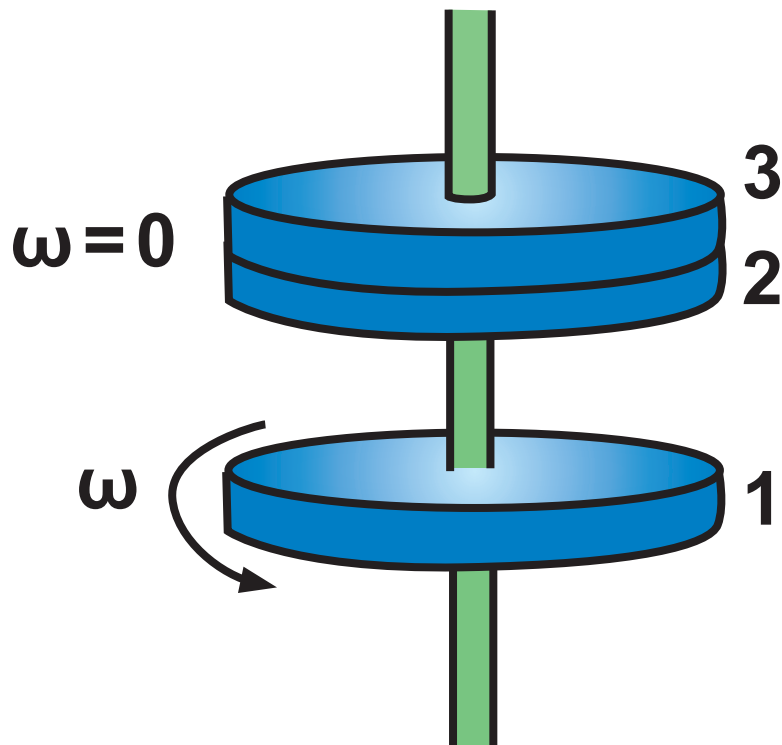
β) 2ω ,

γ) 3ω ,

δ) $\frac{\omega}{2}$,

ε) $\frac{\omega}{3}$

Επιλέξτε τη σωστή απάντηση.



Σχήμα 4-52.

Έργο και ενέργεια κατά την περιστροφή

4.28 Ένας κύβος από πάγο και μία σφαίρα αφήνονται από το ίδιο ύψος σε πλάγιο επίπεδο. Η σφαίρα κυλίεται κατά μήκος του πλάγιου επιπέδου ενώ ο κύβος ολισθαίνει χωρίς τριβή. Οι μάζες των δύο σωμάτων είναι ίσες και οι διαστάσεις τους μικρές σε σχέση με το ύψος από το οποίο αφέθηκαν να κινηθούν. Να συγκρίνετε

- 1. Το έργο του βάρους κατά την κίνηση των δύο σωμάτων.**
- 2. Την ταχύτητα με την οποία τα σώματα φτάνουν στη βάση του πλάγιου επιπέδου.**

4.29 Σε τροχό ο οποίος στρέφεται γύρω από σταθερό άξονα ασκείται δύναμη **F** που μεταβάλλει τη γωνιακή του ταχύτητα:

α) από **1 rad/s** σε **3 rad/s**.

β) από **4 rad/s** σε **6 rad/s**.

γ) από **-2 rad/s** σε **5 rad/s**.

δ) από **-3 rad/s** σε **4 rad/s**.

Σε ποια περίπτωση το έργο της δύναμης είναι μεγαλύτερο;

4.30 Σώμα που αφήνεται από το σημείο **A** πλάγιου επιπέδου κυλίνεται μέχρι το σημείο **Γ**, που βρίσκεται στη βάση του πλάγιου επιπέδου. Το σημείο **B** είναι ένα ενδιάμεσο σημείο της διαδρομής του σώματος. Να συμπληρωθεί ο πίνακας.

	Δυναμική ενέργεια	Κινητική ενέργεια από τη μεταφορική κίνηση	Κινητική ενέργεια από την περιστροφική κίνηση
A	120 J		
B		40 J	20 J
Γ	0	80 J	

4.31 Συμπληρώστε τον πίνακα:

Σύμβολο	Όνομα	Μέγεθος ¹	Μονάδα στο SI
	Γωνιακή Ταχύτητα		rad/s ²
		διανυσματικό	N m
I			
L			

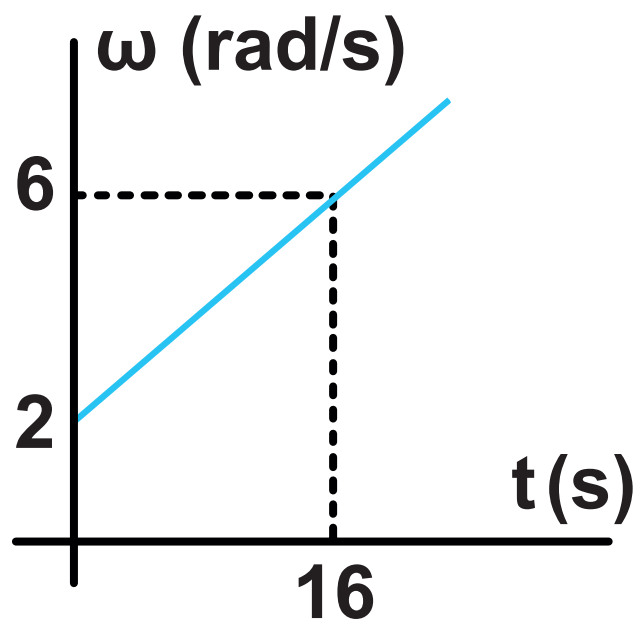
¹ Γράψτε μία από τις λέξεις μονόμετρο ή διανυσματικό.

Ασκήσεις

Κινηματική του στερεού

4.32 Η γωνιακή ταχύτητα ενός τροχού που στρέφεται μεταβάλλεται με το χρόνο, όπως φαίνεται στο διάγραμμα του **σχήματος 4.53**. Ποια είναι η γωνιακή επιτάχυνση του τροχού; Ποια χρονική στιγμή η γωνιακή ταχύτητα του τροχού θα έχει τιμή **20 rad/s**;

[Απ: $0,25 \text{ rad/s}^2$, 72 s]



Σχήμα 4-53.

4.33 Ένα όχημα κινείται ευθύγραμμα με σταθερή ταχύτητα 20 m/s . Οι τροχοί του έχουν ακτίνα 40 cm . Υπολογίστε τη γωνιακή ταχύτητα με την οποία στρέφονται.

[Απ: 50 rad/s]

4.34 Ένα όχημα, οι τροχοί του οποίου έχουν ακτίνα $r = 40 \text{ cm}$, κινείται με επιτάχυνση 2 m/s^2 . Με ποιο ρυθμό αυξάνεται η γωνιακή ταχύτητα των τροχών του;

[Απ: 5 rad/s^2]

4.35 Ένας δίσκος ακτίνας 8 cm κυλίεται πάνω σε οριζόντιο επίπεδο. Η ταχύτητα του κέντρου του δίσκου είναι 5 m/s . Υπολογίστε:
α) την ταχύτητα με την οποία

κινείται το ανώτερο σημείο του δίσκου.

β) τη συχνότητα με την οποία στρέφεται.

[Απ: 10 m/s, 9,9 Hz]

4.36 Τη χρονική στιγμή μηδέν το κέντρο ενός τροχού, ακτίνας $R = 20 \text{ cm}$, που κυλίνεται, έχει ταχύτητα $u_0 = 8 \text{ m/s}$. Η ταχύτητα του τροχού μηδενίζεται αφού διανύσει απόσταση $x = 20 \text{ m}$.

Ποια είναι η γωνιακή επιβράδυνσή του, αν θεωρήσουμε ότι είναι σταθερή στη διάρκεια της κίνησης;

[Απ: 8 rad/s^2]

Ροπή δύναμης

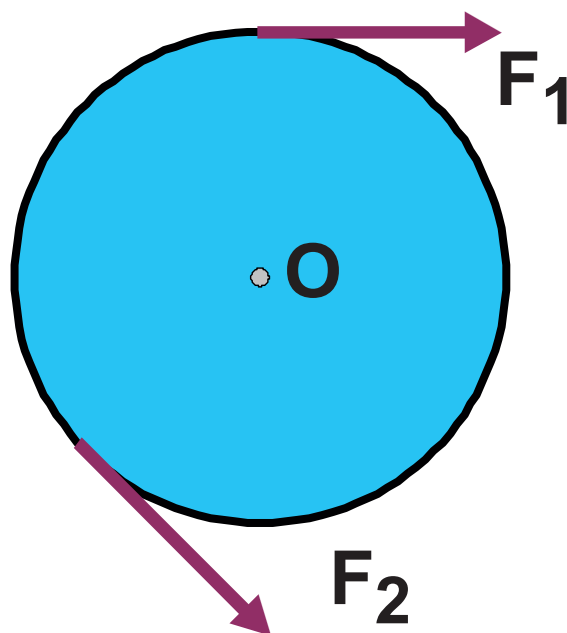
4.37 Ένας εργάτης, για να σφίξει μια βίδα, χρησιμοποιεί κλειδί μήκους **20 cm**. Η μέγιστη δύναμη που μπορεί να ασκήσει ο εργάτης είναι **200 N**. Ποια είναι η μέγιστη ροπή που μπορεί να ασκήσει; Πώς πρέπει να ασκηθεί η δύναμη ώστε η ροπή να είναι μέγιστη;

[Απ: 40 N m]

4.38 Ο τροχός του **σχήματος 4.54** έχει ακτίνα **$R = 0,5 \text{ m}$** και μπορεί να στρέφεται γύρω από άξονα που διέρχεται από το κέντρο του **O** και είναι κάθετος στο επίπεδό του. Στον τροχό ασκούνται εφαπτομενικά οι δυνάμεις **$F_1 = 20 \text{ N}$** και **$F_2 = 30 \text{ N}$** . Ποια

είναι η συνολική ροπή που
δέχεται ο τροχός;

[Απ: 5 N m]

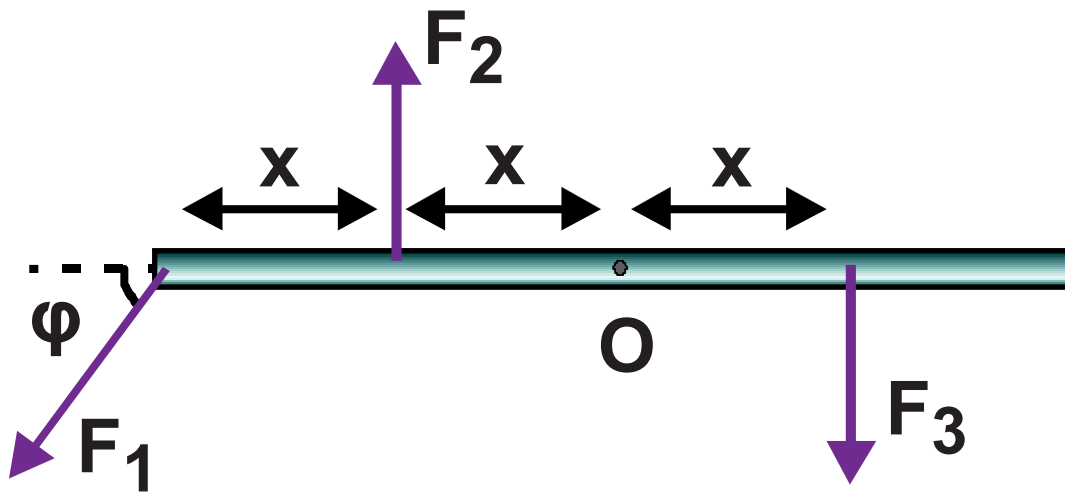


Σχήμα 4-54.

4.39 Η ράβδος του **σχήματος 4.55** έχει αμελητέο βάρος και μπορεί να στρέφεται γύρω από άξονα που διέρχεται από το σημείο **O** και είναι κάθετος σ' αυτή. Στη ράβδο ασκούνται οι δυνάμεις **$F_1 = 20\text{N}$** , **$F_2 = 2\text{N}$** και **$F_3 = 10\text{N}$** .

Να υπολογίσετε το αλγεβρικό
άθροισμα των ροπών των
δυνάμεων που ασκούνται στη
ράβδο ως προς το σημείο O .
Δίνονται: $x = 2\text{m}$ και $\varphi = 30^\circ$.

[Απ: 16 N m]



Σχήμα 4-55.

Ισορροπία στερεού σώματος

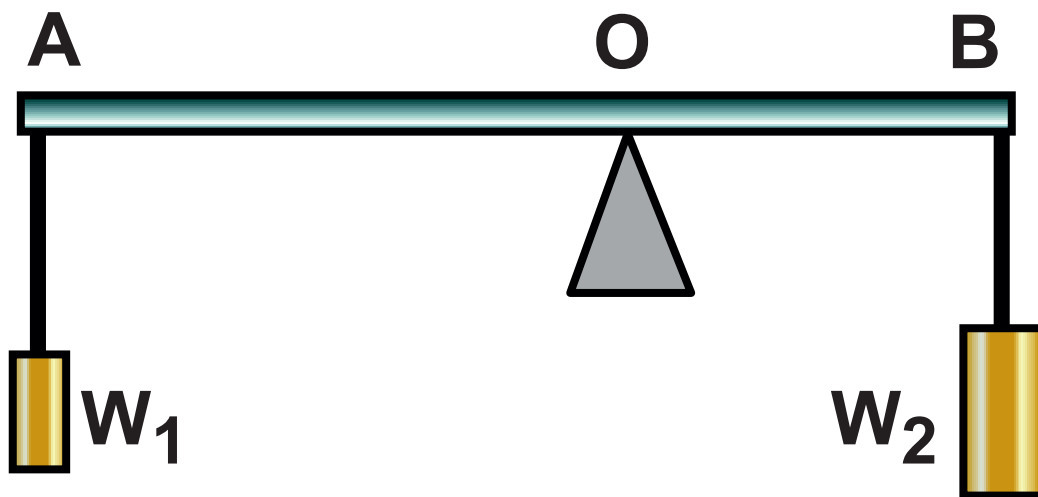
4.40 Το βαρούλκο ενός πηγαδιού αποτελείται από τύμπανο ακτίνας $R_1 = 20 \text{ cm}$, στο οποίο είναι προσαρμοσμένη χειρολαβή, μήκους $R_2 = 0,5 \text{ m}$. Όταν στρέφεται η χειρολαβή, το σκοινί τυλίγεται στο τύμπανο και έλκει φορτίο (κουβάς με νερό) βάρους 150 N . Να υπολογίσετε την ελάχιστη δύναμη που πρέπει να ασκηθεί στη χειρολαβή ώστε να ανεβαίνει το φορτίο.

[Απ: 60 N]

4.41 Από τα άκρα **A** και **B** αβαρούς ράβδου, μήκους $l = 2 \text{ m}$, κρέμονται με σκοινιά δύο βάρη $w_1 = 200 \text{ N}$ και $w_2 = 300 \text{ N}$

(σχ. 4.56). Σε ποιο σημείο πρέπει να στηριχτεί η ράβδος για να ισορροπεί οριζόντια;

[Απ: 1,2 m από το άκρο A]

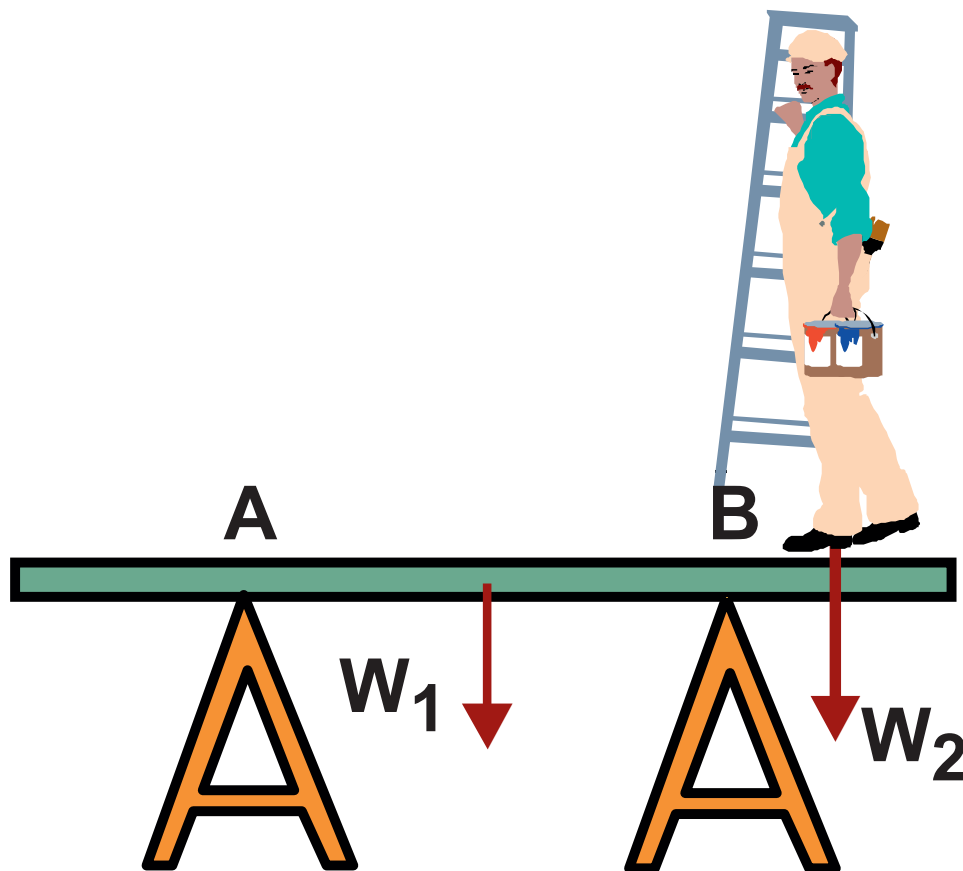


Σχήμα 4-56.

4.42 Ο ελαιοχρωματιστής του σχήματος 4.57 στέκεται πάνω σε δοκό μήκους $l=4\text{ m}$ και βάρους $w_1 = 150\text{ N}$. Η δοκός στηρίζεται στα σημεία A και B που απέχουν το καθένα 1 m , από τα

άκρα της. Το βάρος του ελαιο-
χρωματιστή είναι $w_2 = 700 \text{ N}$. Σε
πόση απόσταση από τις άκρες
μπορεί να σταθεί ο ελαιοχρω-
ματιστής χωρίς να ανατρα-
πεί η δοκός;

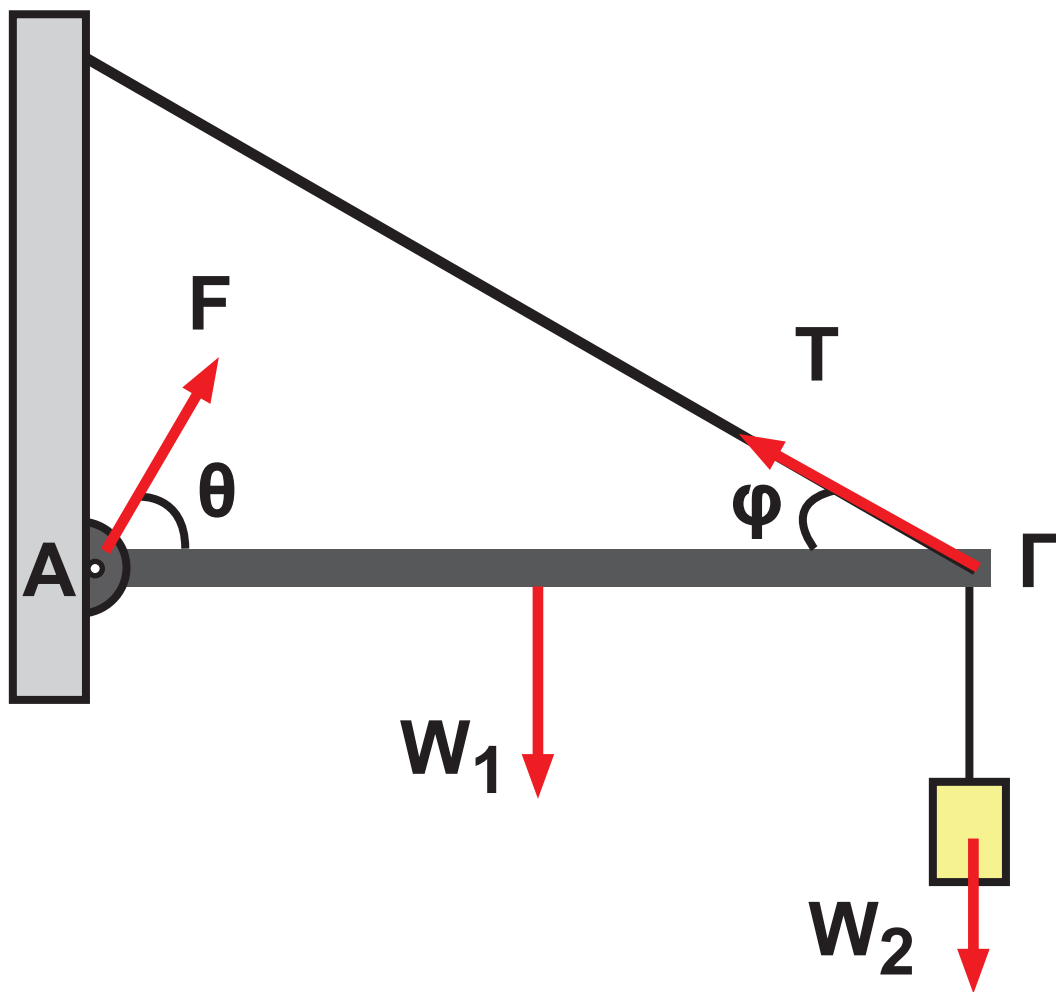
[Απ: 79 cm]



Σχήμα 4-57.

4.43 Ομογενής δοκός $ΑΓ$ με μήκος l και βάρος $w_1 = 100\text{ N}$ ισορροπεί οριζόντια (σχ. 4.58). Το άκρο A της δοκού συνδέεται με άρθρωση σε κατακόρυφο τοίχο. Το άλλο άκρο της $Γ$ συνδέεται με τον τοίχο με σκοινί που σχηματίζει γωνία $\varphi = 30^\circ$ με τη δοκό. Στο άκρο $Γ$ κρέμεται με σκοινί σώμα βάρους $w_2 = 40\text{ N}$. Υπολογίστε την τάση του σκοινιού και τη δύναμη που δέχεται η δοκός από τον τοίχο.

[Απ: $T = 180\text{ N}$, $F = 163,7\text{ N}$, $\varepsilon\varphi\theta = 0,32$]



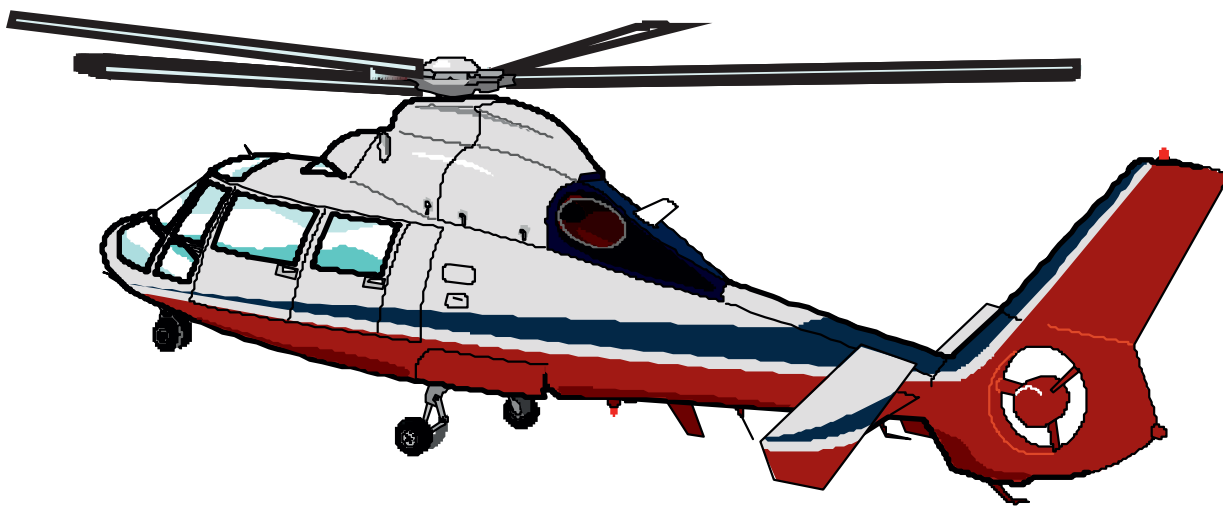
Σχήμα 4-58.

Ροπή αδράνειας και θεμελιώδης νόμος της στροφικής κίνησης

4.44 Καθένα από τα τέσσερα πτερύγια του έλικα του ελικοπτήρου (σχ. 4.59) μπορεί να θεωρηθεί ομογενής ράβδος. Το μήκος κάθε πτερυγίου είναι **6 m** και η

μάζα του **100 kg**. Υπολογίστε τη ροπή αδράνειας των τεσσάρων πτερυγίων ως προς τον άξονα περιστροφής τους. Δίνεται ότι η ροπή αδράνειας ομογενούς ράβδου μήκους **L**, ως προς άξονα που διέρχεται από το κέντρο μάζας της και είναι κάθετος σ' αυτή, είναι $I = \frac{1}{12} ML^2$

[Απ: **4800 kg m²**]



Σχήμα 4-59.

54 / 141 - 142

4.45 Στην περιφέρεια ενός τροχού, μάζας $M=2\text{ kg}$ και ακτίνας $R=0,5\text{ m}$, που στρέφεται με γωνιακή ταχύτητα $\omega=100\text{ rad/s}$ γύρω από τον άξονά του ασκείται σταθερή δύναμη F , εφαπτομενική στον τροχό. Ο τροχός σταματάει μετά από 5 s . Να υπολογίσετε:

α) τη γωνιακή επιτάχυνση (επιβράδυνση) του τροχού.

β) το μέτρο της δύναμης F .

Η ροπή αδράνειας του τροχού είναι $I=\frac{1}{2}MR^2$.

[Απ: 20 rad/s^2 10 N]

4.46 Οριζόντια ομογενής ράβδος, μήκους $L = 1 \text{ m}$, μπορεί να στρέφεται γύρω από οριζόντιο άξονα που διέρχεται από το ένα άκρο της (σχ. 4.60). Ποια είναι η γωνιακή επιτάχυνση της ράβδου, τη στιγμή που, από την οριζόντια θέση, αφήνεται ελεύθερη; Η ροπή αδράνειας της ράβδου ως προς τον άξονα περιστροφής της είναι $I = \frac{1}{3} ML^2$ και η επιτάχυνση της βαρύτητας $g = 10 \text{ m/s}^2$.

[Απ: 15 rad/s^2]

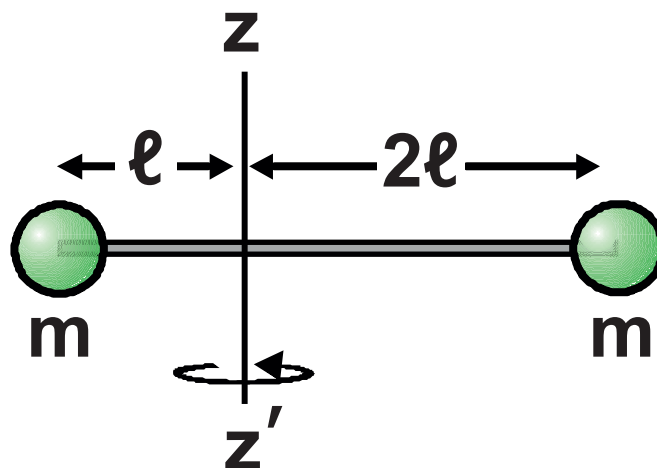


Σχήμα 4-60.

Στροφορμή - αρχή διατήρησης της στροφορμής

4.47 Δύο σφαίρες, που η καθεμιά έχει μάζα $m=100\text{ g}$ συνδέονται μεταξύ τους με αβαρή ράβδο, όπως στο **σχήμα 4.61**. Το σύστημα περιστρέφεται σε οριζόντιο επίπεδο με γωνιακή ταχύτητα $\omega=16\text{ rad/s}$, γύρω από τον κατακόρυφο άξονα $z'z$. Να υπολογίσετε τη στροφορμή του συστήματος. Δίνεται $l=0,8\text{ m}$.

[Απ: $5,12\text{ kg m}^2/\text{s}$]



Σχήμα 4-61.

4.48 Υπολογίστε τη στροφορμή ενός τροχού μάζας $M = 2 \text{ kg}$ και ακτίνας $R = 0,4 \text{ m}$, που στρέφεται με γωνιακή ταχύτητα $\omega = 10 \text{ rad/s}$ γύρω από τον άξονά του. Θεωρήστε ότι η μάζα του τροχού βρίσκεται συγκεντρωμένη στην περιφέρειά του.

[Απ: $3,2 \text{ kg m}^2/\text{s}$]

4.49 Οριζόντιος δίσκος ακτίνας 20 cm και μάζας 1 kg στρέφεται με συχνότητα 2 Hz γύρω από κατακόρυφο άξονα που περνάει από το κέντρο του. Από κάποιο ύψος αφήνεται ένα κομμάτι λάσπη μάζας 100 gr , που κολλάει στο δίσκο σε απόσταση 10 cm από τον άξονα περιστροφής. Να υπολογίσετε τη νέα συχνότητα περιστροφής.

Η ροπή αδράνειας του δίσκου
ως προς τον άξονα περιστρο-
φής του είναι $I = \frac{1}{2}MR^2$

[Απ: 1,9 Hz]

Κινητική ενέργεια - έργο

4.50 Ομογενής ράβδος μάζας $M=3\text{ kg}$
και μήκους $L=40\text{ cm}$ στρέφεται
με γωνιακή ταχύτητα $\omega=10\text{ rad/s}$
γύρω από σταθερό άξονα που
διέρχεται από το ένα άκρο της
και είναι κάθετος σ' αυτήν. Να
υπολογίσετε την κινητική ενέρ-
γεια της ράβδου. Η ροπή αδρά-
νειας της ράβδου ως προς άξο-
να που διέρχεται από το κέντρο
μάζας της και είναι κάθετος στη
ράβδο είναι $I_{cm} = \frac{1}{12}ML^2$.

[Απ: 8 J]

4.51 Ομογενής δίσκος μάζας $M=8\text{ kg}$ και ακτίνας R κυλίνεται σε οριζόντιο επίπεδο. Το κέντρο του δίσκου κινείται με ταχύτητα $u=5\text{ m/s}$. Να βρεθεί η κινητική ενέργεια του δίσκου. Η ροπή αδράνειας του δίσκου ως προς άξονα που περνάει από το κέντρο του και είναι κάθετος στο επίπεδό του είναι $I=\frac{1}{2}MR^2$.

[Απ: 150 J]

4.52 Ένας κινητήρας ασκεί ροπή 4 Nm και στρέφεται με συχνότητα 50 Hz . Ποια είναι η ισχύς του;

[Απ: 400π W]

4.53 Ομογενής δίσκος μάζας $m=40\text{ kg}$ και ακτίνας $R=20\text{ cm}$, στρέφεται

με συχνότητα 5 Hz γύρω από άξονα που διέρχεται από το κέντρο του και είναι κάθετος σ' αυτόν. α) Πόσο έργο απαιτείται για να ακινητοποιηθεί ο δίσκος; β) Υπολογίστε τη μέση ισχύ της ροπής που πρέπει να ασκηθεί στο δίσκο για να ακινητοποιηθεί σε 5 s .

Δίνεται $I = \frac{1}{2}mR^2$ και $\pi^2 \approx 10$.

[Απ: 400 J , 80 W]

4.54 Η ράβδος του σχήματος **4.62** που έχει μήκος $L = 2\text{ m}$ και μάζα $M = 3\text{ kg}$, είναι οριζόντια και στρέφεται γύρω από σταθερό κατακόρυφο άξονα που διέρχεται από το άκρο της **O**. Στο άλλο άκρο **A** της ράβδου ασκείται οριζόντια δύναμη μέτρου $F = 10\text{ N}$

που είναι διαρκώς κάθετη στη διεύθυνση της ράβδου. Η ράβδος αρχικά ήταν ακίνητη και με την επίδραση της δύναμης F αρχίζει να στρέφεται. Να υπολογίσετε:

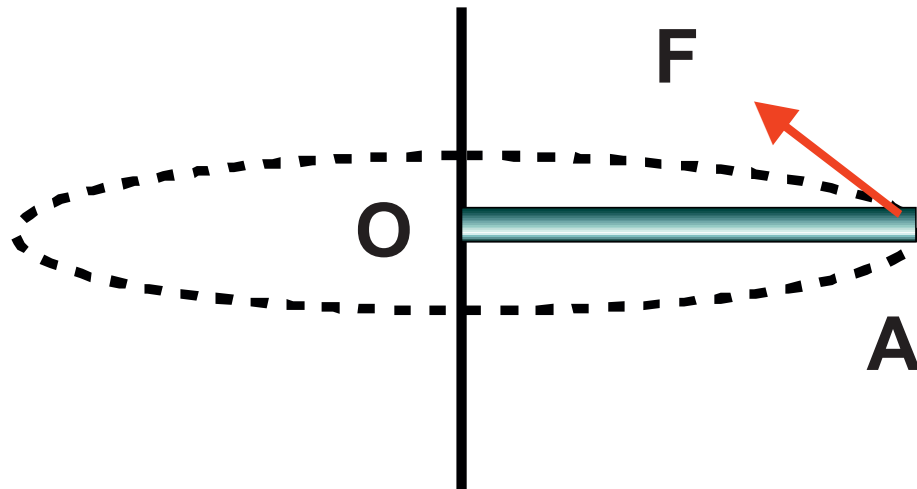
α) Το έργο της δύναμης F , σε μία περιστροφή της ράβδου.

β) Τη γωνιακή ταχύτητα που θα έχει αποκτήσει η ράβδος τη στιγμή κατά την οποία θα έχει ολοκληρώσει μια περιστροφή.

γ) Το ρυθμό με τον οποίο η δύναμη μεταφέρει ενέργεια στη ράβδο (ισχύς της δύναμης) την ίδια στιγμή.

Η ροπή αδράνειας της ράβδου ως προς τον άξονα περιστροφής της είναι $I = \frac{1}{3} ML^2$.

[Απ: $W=40\text{ nJ}$, $\omega=7,9\text{ rad/s}$, $P=158\text{ W}$]

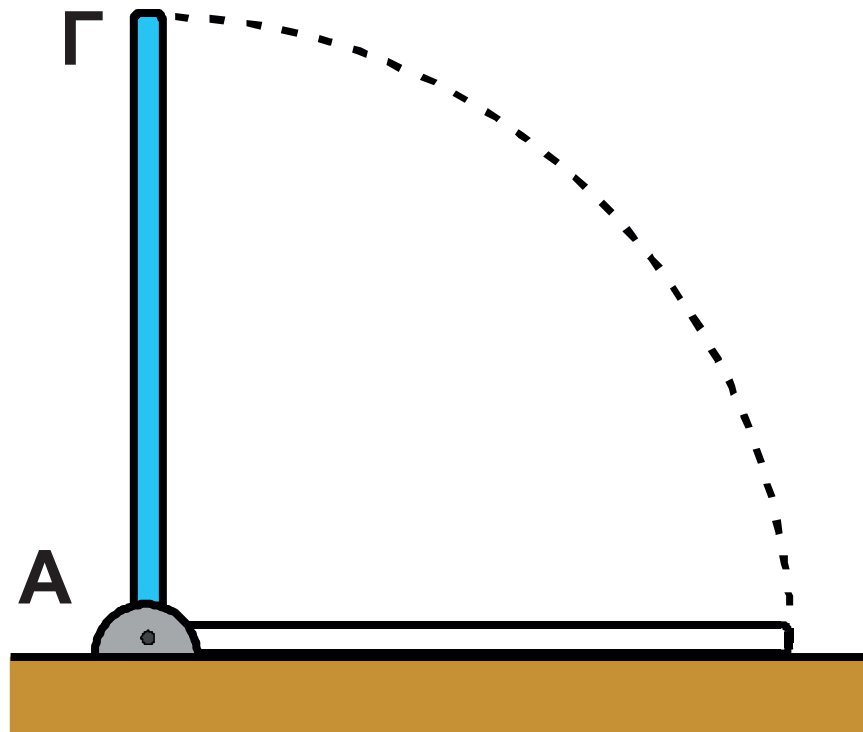


Σχήμα 4-62.

4.55 Η ομογενής ράβδος $ΑΓ$, μήκους $l = 30\text{ cm}$ και μάζας m , είναι κατακόρυφη και μπορεί να στρέφεται χωρίς τριβές γύρω από οριζόντιο άξονα που διέρχεται από το άκρο της A (σχ. 4.63). Η ράβδος αφήνεται από την κατακόρυφη θέση. Να υπολογίσετε την ταχύτητα που έχει το σημείο Γ , τη στιγμή που φτάνει στο

έδαφος. Η ροπή αδράνειας της
ράβδου ως προς άξονα κάθετο
στο μέσον της είναι $I = \frac{ml^2}{12}$ και
η επιτάχυνση της βαρύτητας
 $g = 10 \text{ m/s}^2$.

[Απ: 3 m/s]



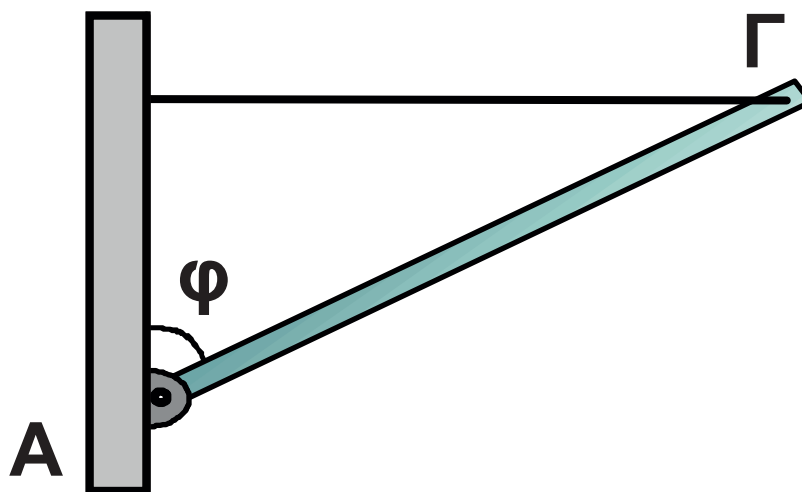
Σχήμα 4-63.

Προβλήματα

4.56 Ομογενής δοκός $A\Gamma$ μήκους ℓ και βάρους $w=100\text{ N}$ ισορροπεί όπως φαίνεται στο **σχήμα 4.64**. Να υπολογίσετε τις δυνάμεις που δέχεται η δοκός από το σκοινί και από την άρθρωση A . Δίνεται $\varphi = 60^\circ$.

[Απ: $T = 50\sqrt{3}\text{ N}$, $F = 50\sqrt{7}\text{ N}$,

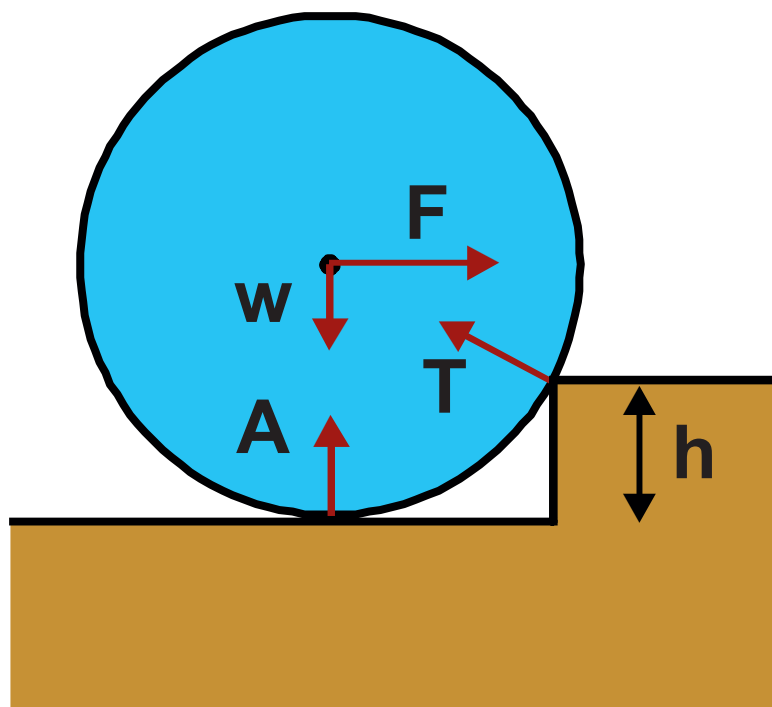
$$\varepsilon_{\varphi\theta} = \frac{2\sqrt{3}}{3}]$$



Σχήμα 4-64.

4.57 Το εμπόδιο στο **σχήμα 4.65** έχει ύψος **h** και ο τροχός ακτίνα **R** και βάρος **w** . Για ποιες τιμές της οριζόντιας δύναμης **F** ο τροχός θα υπερπηδήσει το εμπόδιο.

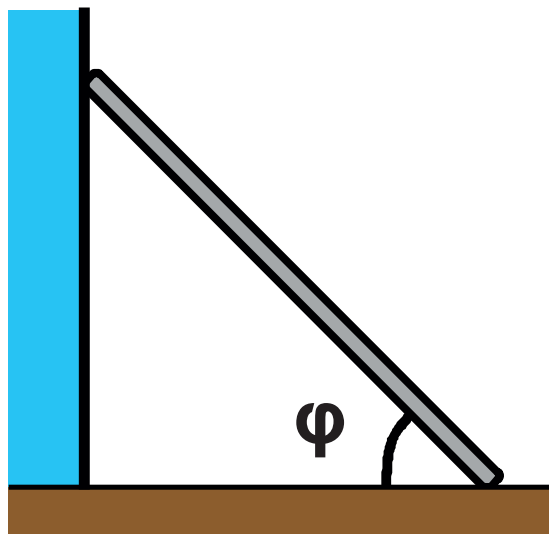
$$[\text{Απ: } F > w \frac{\sqrt{h(2R - h)}}{R - h}]$$



Σχήμα 4-65.

4.58 Ομογενής σκάλα μπορεί να ισοροπήσει στηριζόμενη στο έδαφος και στον τοίχο (σχ. 4.66) μόνο όταν η γωνία φ που σχηματίζει με το έδαφος είναι μεγαλύτερη των 30° . Να υπολογίσετε το συντελεστή οριακής στατικής τριβής της σκάλας με το οριζόντιο επίπεδο. Θεωρήστε αμελητέα την τριβή ανάμεσα στη σκάλα και τον τοίχο.

[Απ: $\frac{\sqrt{3}}{2}$]



Σχήμα 4-66.

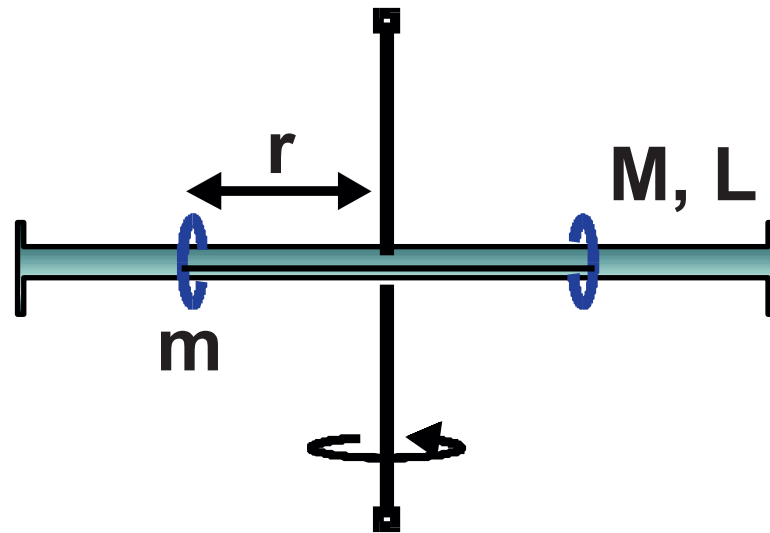
4.59 Ο πίσω τροχός ενός ποδηλάτου έχει ακτίνα $R=0,30\text{ m}$ και μάζα 1 kg . Ο τροχός στρέφεται με συχνότητα 100 στροφές ανά λεπτό - χωρίς να έρχεται σε επαφή με το έδαφος. Χρησιμοποιώντας το φρένο ακινητοποιούμε τον τροχό σε 5 s . Ο συντελεστής τριβής ολίσθησης στην επαφή τροχού - φρένου, είναι $\frac{\pi}{5}$. Να υπολογίσετε την κάθετη δύναμη που ασκεί το φρένο στον τροχό. (Θεωρήστε ότι το φρένο έρχεται σε επαφή με τον τροχό μόνο από τη μια του πλευρά και ότι η μάζα του τροχού είναι συγκεντρωμένη στην περιφέρειά του).

[Απ: 1 N]

4.60 Η ράβδος του **σχήματος 4.67** είναι οριζόντια και μπορεί να στρέφεται γύρω από κατακόρυφο άξονα που διέρχεται από το μέσον της. Το μήκος της ράβδου είναι **$L = 1\text{ m}$** και η μάζα της **$M = 0,6\text{ kg}$** . Σε απόσταση **$r = 0,2\text{ m}$** από τον άξονα περιστροφής βρίσκονται δύο μεταλλικοί δακτύλιοι μάζας **$m = 0,1\text{ kg}$** ο καθένας, που συνδέονται μεταξύ τους με ένα νήμα. Το σύστημα στρέφεται γύρω από τον άξονα με συχνότητα **$f_1 = 10\text{ Hz}$** . Κάποια στιγμή το νήμα σπάει και οι δακτύλιοι, λόγω αδράνειας ωθούνται στα άκρα της ράβδου. Υπολογίστε τη νέα συχνότητα με την οποία θα στρέφεται το σύστημα. Η ροπή αδράνειας της ράβδου ως προς άξονα που

διέρχεται από το κέντρο μάζας
της είναι $I = \frac{1}{12} ML^2$.

[Απ: 5,8 Hz]



Σχήμα 4-67.

4.61 Η ταχύτητα του κέντρου μάζας μιας σφαίρας που κυλίεται σε οριζόντιο επίπεδο είναι 5 m/s . Η σφαίρα στην πορεία της συναντά πλάγιο επίπεδο γωνίας κλίσης 30° και συνεχίζει πάνω σ' αυτό την κίνησή της. Η κίνηση της σφαίρας γίνεται χωρίς ολίσθηση. Να υπολογίσετε το διάστημα

70 / 144 - 145

που διανύει η σφαίρα στο πλάγιο επίπεδο μέχρι να σταματήσει. Η ροπή αδράνειας της σφαίρας, ως προς άξονα που διέρχεται από το κέντρο της, είναι

$$\frac{2}{5} mR^2. \text{ Δίνεται } g = 10 \text{ m/s}^2$$

[Απ: 3,5 m]

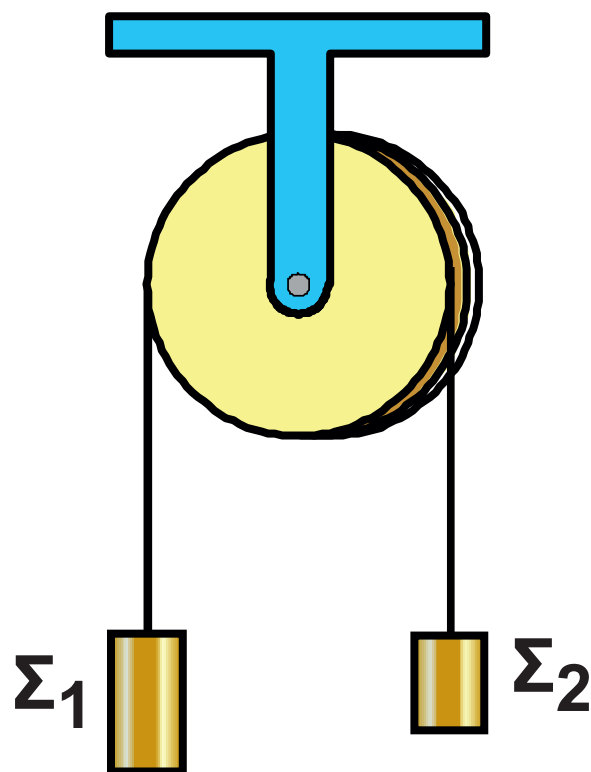
4.62 Συμπαγής σφαίρα κατεβαίνει χωρίς ολίσθηση σε πλάγιο επίπεδο με κλίση 30° . Η ροπή αδράνειας της σφαίρας, ως προς άξονα που διέρχεται από το κέντρο της, είναι $I = \frac{2}{5} mR^2$ και η επιτάχυνση της βαρύτητας $g = 10 \text{ m/s}^2$. Να υπολογίσετε την επιτάχυνση του κέντρου της σφαίρας.

[Απ: $\frac{25}{7} \text{ m/s}^2$]

4.63 Η τροχαλία του σχήματος 4.68 είναι ομογενής με μάζα $m = 2 \text{ kg}$ και ακτίνα R . Τα σώματα Σ_1 και Σ_2 έχουν μάζες $m_1 = 3 \text{ kg}$, $m_2 = 1 \text{ kg}$. Να υπολογίσετε με ποια επιτάχυνση θα κινηθούν τα σώματα αν αφεθούν ελεύθερα. Η ροπή αδράνειας της τροχαλίας ως προς τον άξονά της είναι $I = \frac{1}{2} mR^2$ και η επιτάχυνση της βαρύτητας $g = 10 \text{ m/s}^2$. Το βάρος του νήματος θεωρείται αμελητέο.

Σημείωση: Η τριβή ανάμεσα στην τροχαλία και στο σκοινί είναι αρκετά μεγάλη ώστε να μην παρατηρείται ολίσθηση.

[Απ: $\alpha = 4 \text{ m/s}^2$]

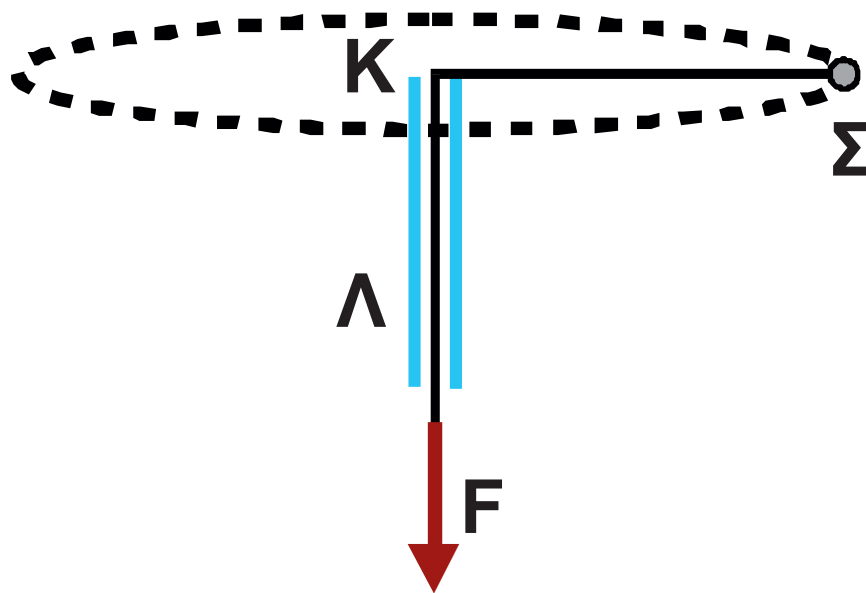


Σχήμα 4-68.

4.64 Το σφαιρίδιο Σ του **σχ. 4.69** έχει μάζα **200 g** και διαγράφει κύκλο ακτίνας **30 cm** με γωνιακή ταχύτητα **40 rad/s**. Το σκοινί στο οποίο είναι δεμένο το σφαιρίδιο περνάει από κατακόρυφο σωλήνα **ΚΛ**. Ποιο είναι το έργο της δύναμης **F** που πρέπει να ασκήσουμε στην ελεύθερη άκρη του

σκοινιού μέχρις ότου η ακτίνα περιστροφής του σφαιριδίου Σ γίνει **15 cm**; (Θα θεωρήσετε ότι σ' όλη τη διάρκεια του φαινομένου το σκοινί είναι οριζόντιο και ότι δεν υπάρχουν τριβές μεταξύ του σκοινιού και του σωλήνα).

[Απ: 43,2 J]



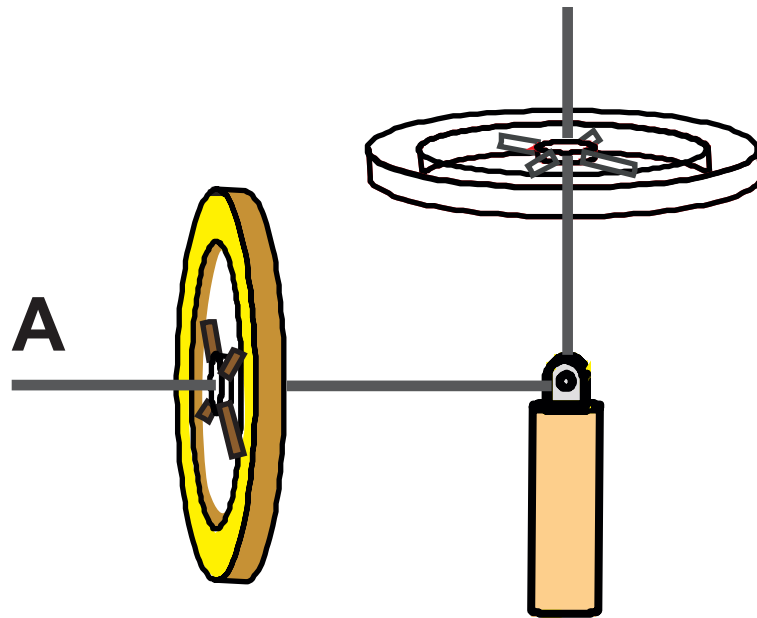
Σχήμα 4-69.

4.65 Ο τροχός του **σχήματος 4.70** έχει ροπή αδράνειας, ως προς τον άξονά του, **$0,18 \text{ kg m}^2$** και στρέφεται με γωνιακή ταχύτητα

74 / 145 - 146

$\omega = 25 \text{ rad/s}$ γύρω από οριζόντιο άξονα που διέρχεται από το κέντρο του. Ασκώντας στο σημείο **A** του άξονα περιστροφής την κατάλληλη δύναμη τον μετακινούμε ώστε να γίνει κατακόρυφος. Υπολογίστε το μέτρο της μεταβολής της στροφορμής του τροχού.

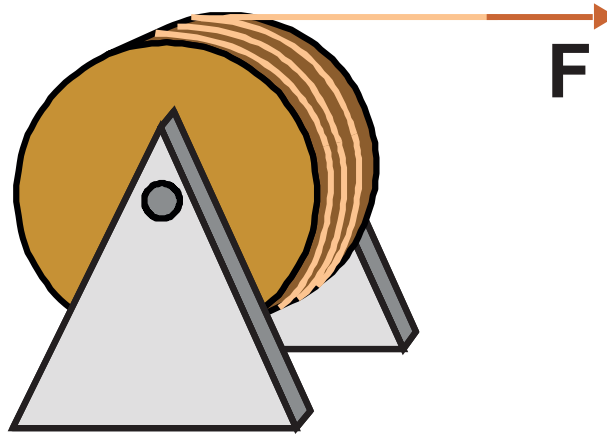
[Απ: $4,5\sqrt{2} \text{ Kg m}^2/\text{s}$]



Σχήμα 4-70.

4.66 Στην περιφέρεια μιας ακίνητης τροχαλίας, ακτίνας **20 cm**, είναι τυλιγμένο σκοινί. Ασκώντας στο σκοινί οριζόντια δύναμη **$20\pi\text{ N}$** περιστρέφουμε την τροχαλία. Βρέθηκε ότι όταν η τροχαλία έχει κάνει τέσσερις περιστροφές έχει γωνιακή ταχύτητα **$\omega = 8\pi\text{ rad/s}$** . Να υπολογιστεί η μάζα της. Δίνεται ότι η ροπή αδράνειας της τροχαλίας ως προς τον άξονα περιστροφής της είναι **$I = \frac{1}{2}mR^2$** .

[Απ: 50 kg]



Σχήμα 4-71.

4.67 Ένας τροχός αφήνεται να κινηθεί σε πλάγιο επίπεδο που σχηματίζει με το οριζόντιο γωνία φ . Για ποιες τιμές του συντελεστή οριακής στατικής τριβής η κίνησή του γίνεται χωρίς ολίσθηση; Δίνεται η ροπή αδράνειας του τροχού ως προς τον άξονα γύρω από τον οποίο στρέφεται

$$I = \frac{1}{2} mR^2.$$

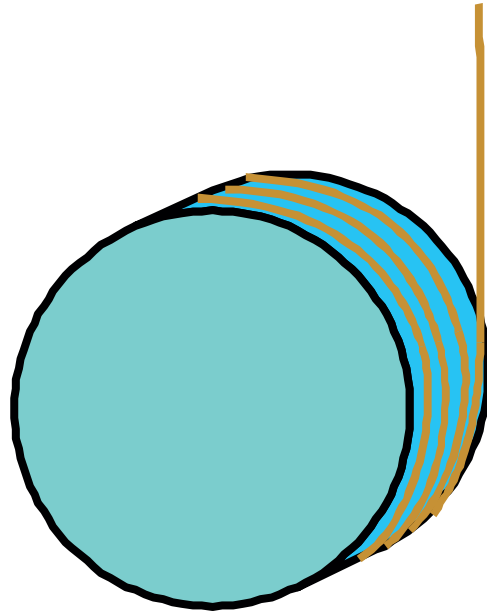
$$[\text{Απ: } \mu_s > \frac{\varepsilon\varphi\varphi}{3}]$$

4.68 Το γιο – γιο του σχήματος αποτελείται από κύλινδρο με μάζα $m = 120\text{g}$ και ακτίνα $R = 1,5\text{cm}$, γύρω από τον οποίο έχει τυλιχτεί πολλές φορές νήμα (σχ. 4.72). Κρατώντας το ελεύθερο άκρο του νήματος, αφήνουμε τον κύλινδρο να κατεβαίνει. Να υπολογίσετε

- α) το ρυθμό με τον οποίο αυξάνεται η στροφορμή του κυλίνδρου καθώς κατεβαίνει, και
β) την ταχύτητα του κέντρου μάζας του κυλίνδρου τη στιγμή που έχει ξετυλιχτεί σκοινί μήκους 30cm .

Θεωρήστε το νήμα κατακόρυφο. Η ροπή αδράνειας του κυλίνδρου ως προς τον άξονά του είναι $I = \frac{1}{2}mR^2$. Δίνεται $g = 10\text{m/s}^2$.

[Απ: α) $6 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2/\text{s}^2$, β) 2 m/s]



Σχήμα 4-72.

4.69 Μια μικρή σφαίρα μάζας m και ακτίνας r αφήνεται από το σημείο A , πάνω σε οδηγό, όπως φαίνεται στο **σχήμα 4.73**. Αν η κίνηση της σφαίρας γίνεται χωρίς ολίσθηση, ποιο είναι το μικρότερο ύψος h από το οποίο πρέπει να αφεθεί η σφαίρα για

να κάνει ανακύκλωση; Δίνεται $R=20\text{ cm}$. Η ροπή αδράνειας της σφαίρας ως προς άξονα που διέρχεται από το κέντρο της

είναι $I = \frac{2}{5}mr^2$.

Η ακτίνα της σφαίρας είναι πολύ μικρή σε σχέση με την ακτίνα R .

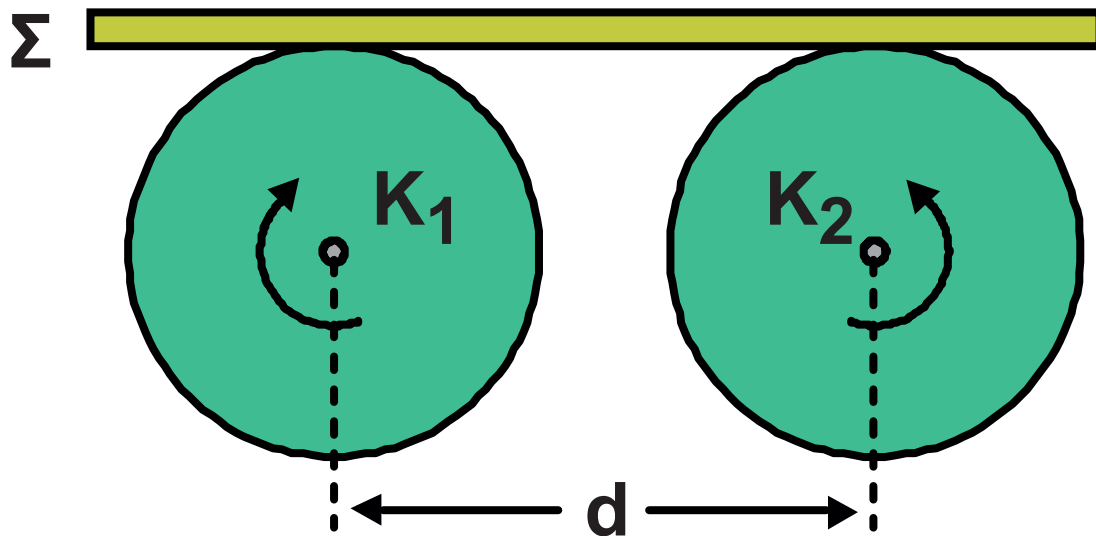
[Απ: 54 cm]



Σχήμα 4-73.

4.70 Οι άξονες δύο ομοίων κυλίνδρων K_1 και K_2 είναι παράλληλοι, βρίσκονται στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο και σε απόσταση d . Αφήνουμε μία ισοπαχή ομογενή σανίδα Σ πάνω στους κυλίνδρους έτσι ώστε το μέσον της να βρίσκεται πάνω από το μέσον της απόστασης K_1K_2 και με κατάλληλο μηχανισμό βάζουμε τους κυλίνδρους σε περιστροφή, όπως δείχνει το **σχήμα 4.74**. Μετατοπίζουμε λίγο τη σανίδα από τη θέση ισορροπίας της και την αφήνουμε ελεύθερη. Να βρείτε την περίοδο της ταλάντωσης που θα εκτελέσει. Ο συντελεστής τριβής ολίσθησης της σανίδας με τους κυλίνδρους είναι μ_k και η επιτάχυνση της βαρύτητας g .

$$[\text{Απ: } 2\pi \sqrt{\frac{d}{2\mu_k g}}]$$

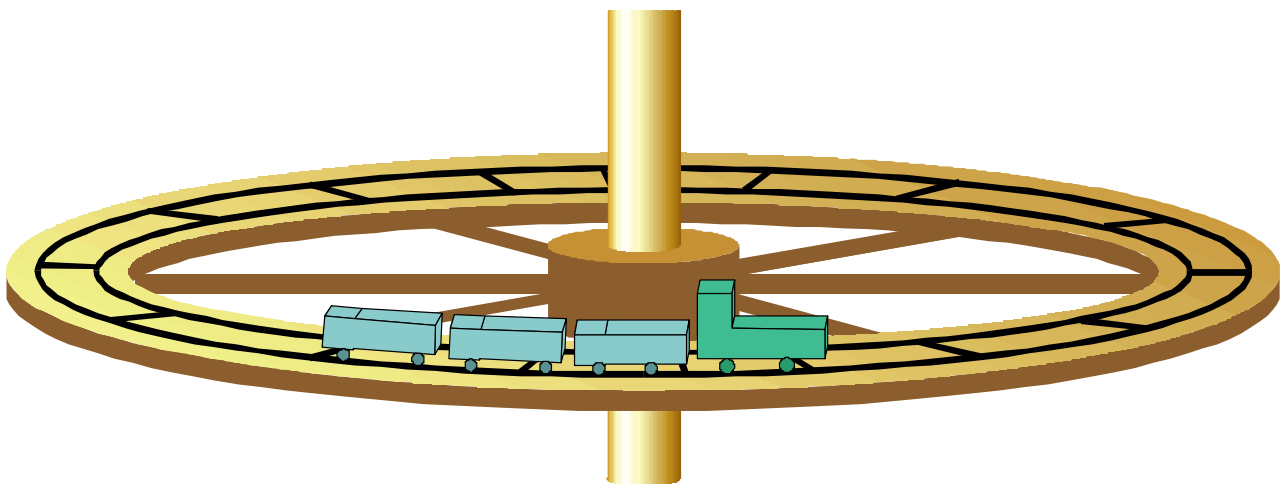


Σχήμα 4-74.

4.71 Ένα ηλεκτρικό τρενάκι μάζας $m = 2 \text{ kg}$ μπορεί να κινείται πάνω σε ένα μεγάλο οριζόντιο τροχό (σχ. 4.75). Ο τροχός μπορεί να στρέφεται γύρω από κατακόρυφο άξονα που διέρχεται από το κέντρο του. Αρχικά και ο τροχός και το τρενάκι είναι ακίνητα. Κάποια στιγμή το τρενάκι

αρχίζει να κινείται με ταχύτητα $u = 8,4 \text{ m/s}$. Να υπολογίσετε τη γωνιακή ταχύτητα με την οποία θα στρέφεται ο τροχός. Δίνεται ότι η ροπή αδράνειας του τροχού ως προς τον άξονά του είναι $I = 11,52 \text{ kgm}^2$ και ότι το τρένάκι απέχει από τον άξονα περιστροφής $R = 1,2 \text{ m}$.

[Απ: $1,75 \text{ rad/s}$]



Σχήμα 4-75.

ΕΝΘΕΤΟ

Εξωτερικό Γινόμενο

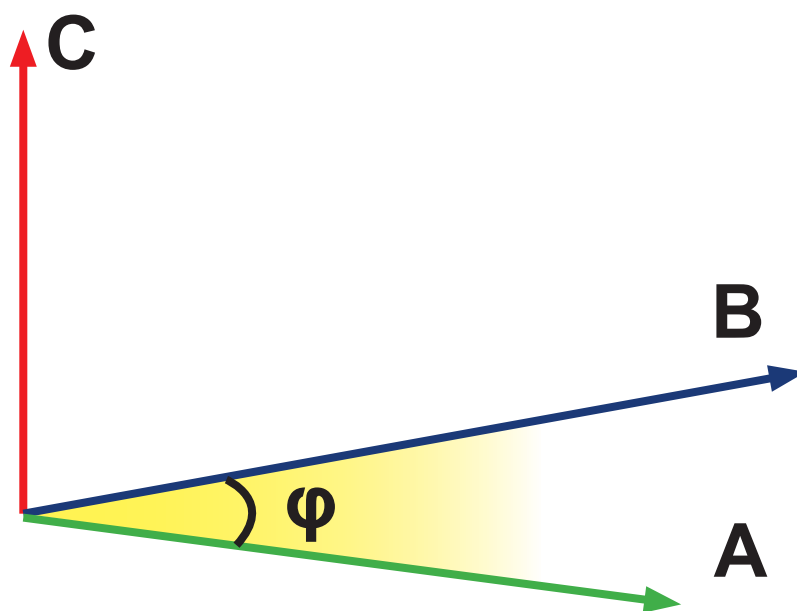
Υπάρχει ένα γινόμενο που χρησιμοποιείται ευρέως στη φυσική. Ονομάζεται εξωτερικό γινόμενο. Το εξωτερικό γινόμενο δύο διανυσμάτων **A** και **B** (συμβολίζεται **$A \times B$**) είναι εξ ορισμού ένα διάνυσμα κάθετο στο επίπεδο των **A** και **B**, με μέτρο

$$C = AB |\eta\mu\phi|$$

όπου **ϕ** η γωνία ανάμεσα στα διανύσματα **A** και **B**.

Η φορά του διανύσματος **C** ορίζεται από το λεγόμενο «κανόνα του δεξιόστροφου κοχλίου». Σύμφωνα με αυτόν, το πρώτο από τα δύο

διανύσματα (**A**) στρέφεται προς το δεύτερο (**B**), ακολουθώντας τη μικρότερη γωνία ανάμεσα στα διανύσματα. Η φορά του **C** είναι η φορά προς την οποία θα κινηθεί ένας δεξιόστροφος κοχλίας, που στρέφεται όπως το διάνυσμα **A**.



Σχήμα 4-76.

Ένας άλλος τρόπος για να καθοριστεί η φορά του διανύσματος **C** είναι ο κανόνας του δεξιού χεριού:

Αν τα δάχτυλα του δεξιού χεριού βρίσκονται κατά μήκος του $\mathbf{A}$ και καμφθούν για να δείχνουν προς το $\mathbf{B}$ (μέσω της μικρότερης γωνίας ανάμεσα στα δύο διανύσματα), ο αντίχειρας δείχνει την κατεύθυνση του $\mathbf{C}$.

Όπως προκύπτει από την εξίσωση που δίνει το μέτρο του $\mathbf{C}$, το εξωτερικό γινόμενο ανάμεσα σε δύο παράλληλα διανύσματα είναι μηδέν.

Αν A_x, A_y, A_z είναι οι συνιστώσες του διανύσματος $\mathbf{A}$, σε τρισσορθόγωνιο σύστημα αξόνων και B_x, B_y, B_z , οι συνιστώσες του διανύσματος $\mathbf{B}$, το εξωτερικό γινόμενο σε καρτεσιανές συντεταγμένες δίνεται από την εξίσωση

$$\mathbf{C} = \mathbf{A} \times \mathbf{B} = \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$$

όπου $\mathbf{i}$, $\mathbf{j}$ και $\mathbf{k}$ τα μοναδιαία διανύσματα στους άξονες x , y και z , αντίστοιχα.

Το εξωτερικό γινόμενο δεν είναι αντιμεταθετικό αλλά

$$\mathbf{A} \times \mathbf{B} = -\mathbf{B} \times \mathbf{A}$$

Εφαρμογές του εξωτερικού γινομένου

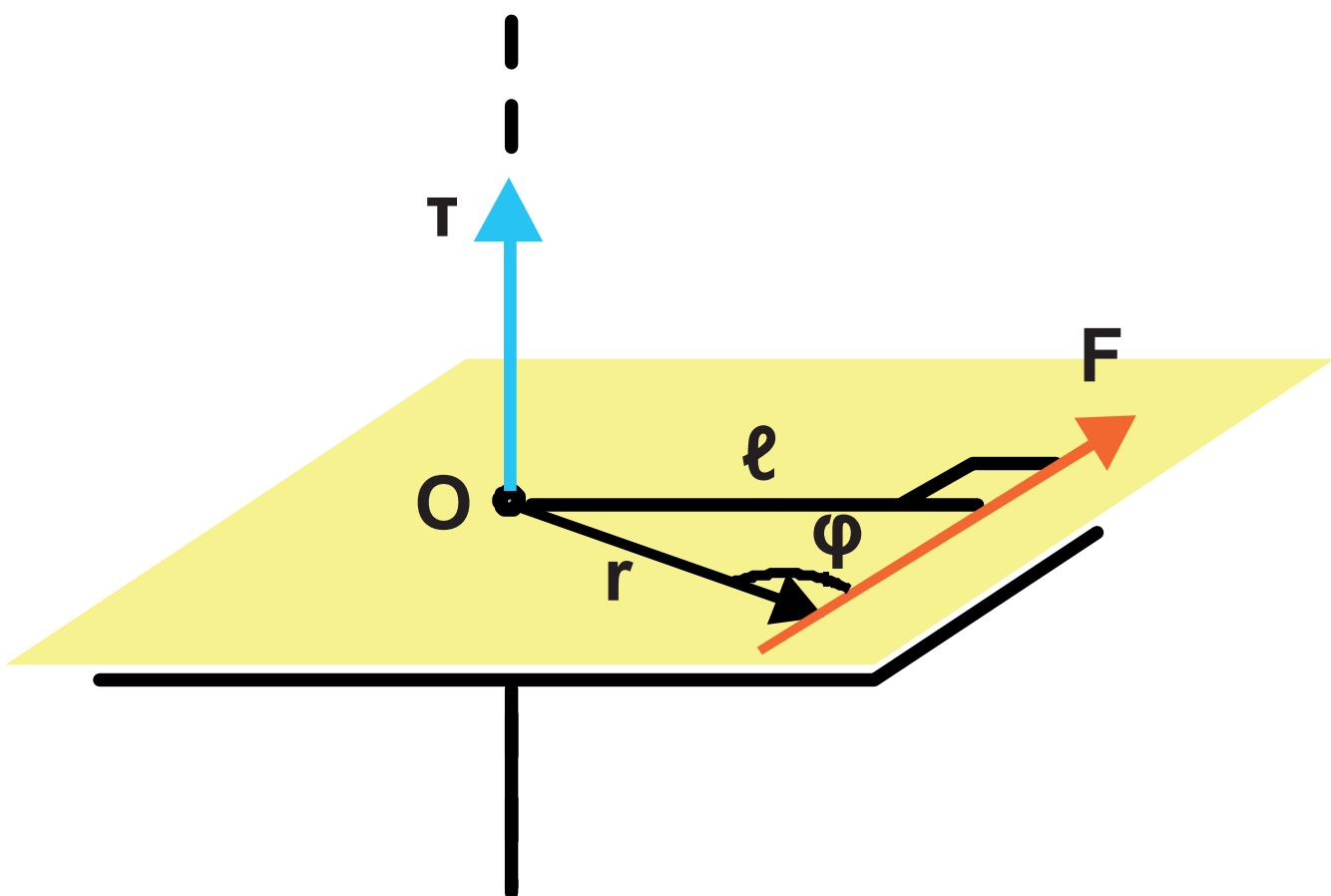
Η ροπή μιας δύναμης $\mathbf{F}$ ως προς σημείο O ορίζεται από τη διανυσματική σχέση

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{r} \times \mathbf{F} \quad (4.24)$$

όπου $\mathbf{r}$ είναι ένα διάνυσμα με αρχή το σημείο O και τέλος ένα σημείο του διανύσματος $\mathbf{F}$. Σύμφωνα με τον ορισμό του εξωτερικού γινομένου η ροπή είναι κάθετη στο επίπεδο που ορίζεται από τα διανύσματα $\mathbf{r}$ και $\mathbf{F}$ και

η φορά της δίνεται από τον κανόνα του δεξιού χεριού. Το μέτρο της ροπής που προκύπτει από τον ορισμό αυτό είναι

$$\tau = rF \eta\mu\varphi \quad (\text{σχ. 4.77})$$



Σχήμα 4-77.

Αν πάρουμε υπόψη ότι $r\eta\mu\varphi = d$ όπου d , η κάθετη απόσταση ανάμεσα

στο σημείο **O** και το διάνυσμα **F**, καταλήγουμε στη γνωστή σχέση

$$\tau = Fd \quad (4.25)$$

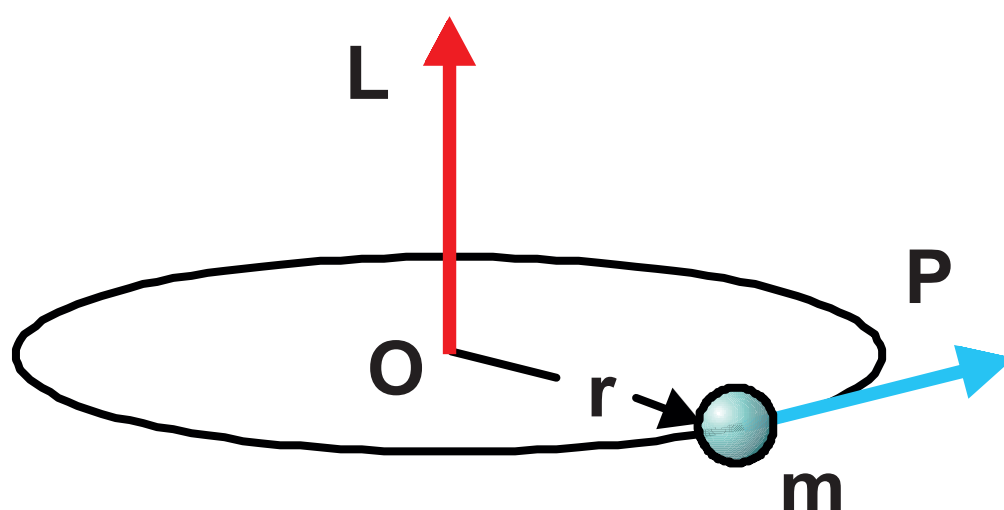
Επομένως η κατεύθυνση και το μέτρο της ροπής είναι ανεξάρτητα από το σημείο του **F** στο οποίο καταλήγει το διάνυσμα **r**.

Ο ορισμός της ροπής σύμφωνα με τη σχέση (4.24) πλεονεκτεί έναντι της (4.25) δηλαδή της σχέσης με την οποία σε προηγούμενη παράγραφο ορίστηκε το μέγεθος, διότι η (4.24) ορίζει ότι είναι διανυσματικό μέγεθος και δίνει το μέτρο και την κατεύθυνσή της.

Η στροφορμή υλικού σημείου που στρέφεται γύρω από σημείο **O**, ορίζεται από τη σχέση

$$\mathbf{L} = \mathbf{r} \times \mathbf{p} = m\mathbf{r} \times \mathbf{u} \quad (4.26)$$

όπου r η επιβατική ακτίνα. Παρατηρήστε πάλι ότι αυτός ο τρόπος ορισμού είναι πολύ πιο κομψός από τον ορισμό που δόθηκε στην παράγραφο 4-7. Η εξίσωση (4.26) δίνει πληροφορίες για το μέτρο, τη διεύθυνση και τη φορά της στροφορμής.



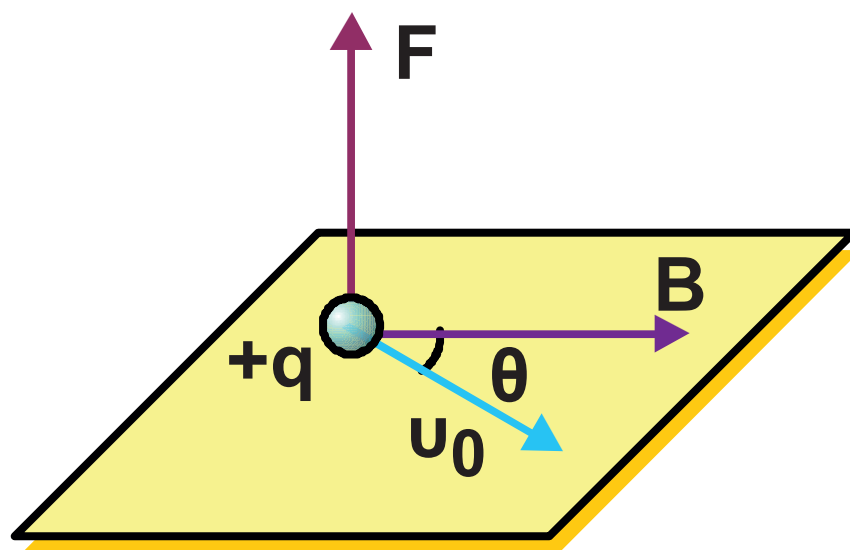
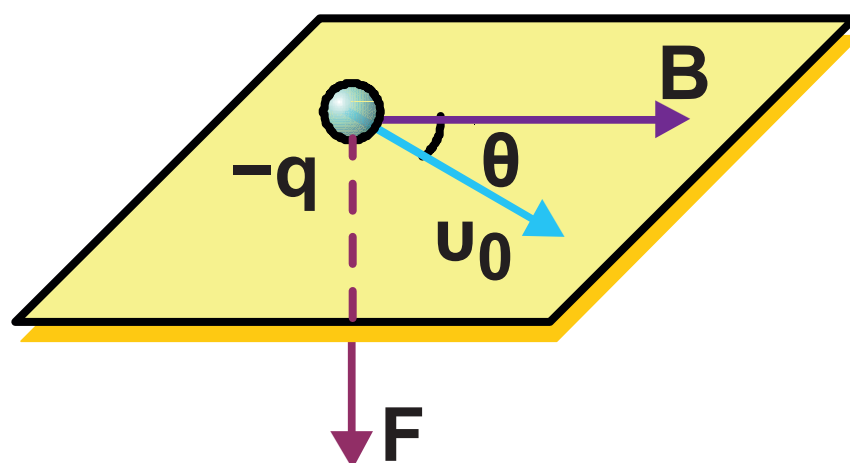
Σχήμα 4-78.

Πέρα από την απλότητα και την κομψότητα, με την οποία μέσω του εξωτερικού γινομένου ορίστηκαν η ροπή και η στροφορμή, υπάρχει και

μια βαθύτερη αιτία που κάνει αυτό τον τρόπο ορισμού τους απαραίτητο. Στη φυσική οι εξισώσεις πέρα από τη συνέπεια των μονάδων και των διαστάσεων πρέπει να έχουν και διανυσματική συνέπεια. Αυτό σημαίνει ότι τα διανύσματα μπορούν να προστεθούν ή να εξισωθούν μόνο με διανύσματα. Οι εξισώσεις (4.24) και (4.26) έχουν αυτή τη διανυσματική συνέπεια.

Και άλλα μεγέθη στη φυσική, όπως η δύναμη που ασκεί το μαγνητικό πεδίο σε κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο, ορίζονται με διανυσματικό γινόμενο. Η δύναμη αυτή (δύναμη Lorentz) ορίζεται από τη σχέση:

$$\mathbf{F} = q\mathbf{u} \times \mathbf{B}$$



Σχήμα 4-79.

Κιβώτιο Ταχυτήτων και Μετάδοση της Κίνησης στο Αυτοκίνητο

Σ' ένα αυτοκίνητο, ανάμεσα στον κινητήρα και τους κινητήριους τροχούς υπάρχουν μηχανισμοί που επιτρέπουν ή εμποδίζουν να μεταδίδεται η στροφική κίνηση του κινητήρα στους τροχούς. Οι μηχανισμοί αυτοί επιτυγχάνουν επίσης διαφορετικές συχνότητες περιστροφής ανάμεσα στον κινητήρα και τις ρόδες. Το σύνολο των διατάξεων αυτών συνιστούν το **σύστημα μετάδοσης του αυτοκινήτου**.

Το Αμπραγιάζ (συμπλέκτης)

Το αμπραγιάζ είναι τοποθετημένο ανάμεσα στον κινητήρα και το κιβώτιο των ταχυτήτων. Το αμπραγιάζ επιτρέπει

- **να συμπλέκουμε**, δηλαδή να πραγματοποιούμε μια προοδευτική σύνδεση ανάμεσα στον πρωτεύοντα άξονα περιστροφής του κινητήρα, (στροφαλοφόρο) και το υπόλοιπο σύστημα μετάδοσης.
- **να αποσυμπλέκουμε**, δηλαδή να καταργούμε παροδικά αυτή τη σύνδεση κατά τη διάρκεια των αλλαγών ταχυτήτων.

Το Κιβώτιο Ταχυτήτων

Στην περίπτωση ενός κλασικού αυτοκινήτου εάν εφαρμόζαμε απ' ευθείας τη στροφική κίνηση του στροφαλοφόρου στους τροχούς, τότε, για συνηθισμένες συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα (**4000 στροφές/min**), το αυτοκίνητο θα έπρεπε να κινείται με ταχύτητα **450 km/h**. Οι τροχοί πρέπει να περιστρέφονται πιο αργά από το στροφαλοφόρο.

Το κιβώτιο ταχυτήτων πετυχαίνει ακριβώς αυτόν τον υποπολλαπλασιασμό των στροφών.

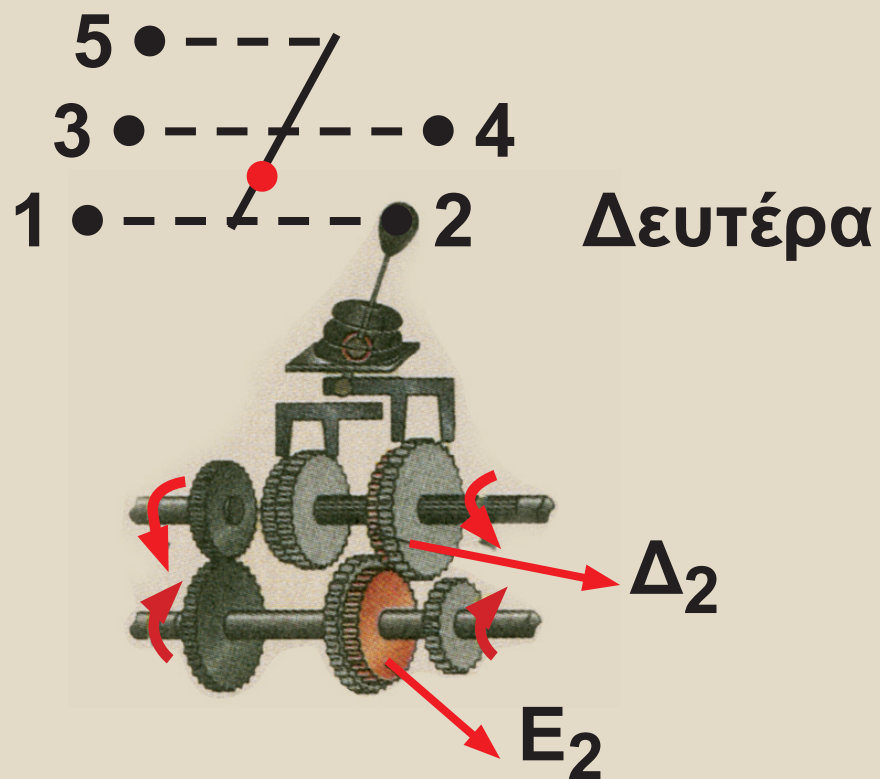
Το κιβώτιο ταχυτήτων δίνει τη δυνατότητα

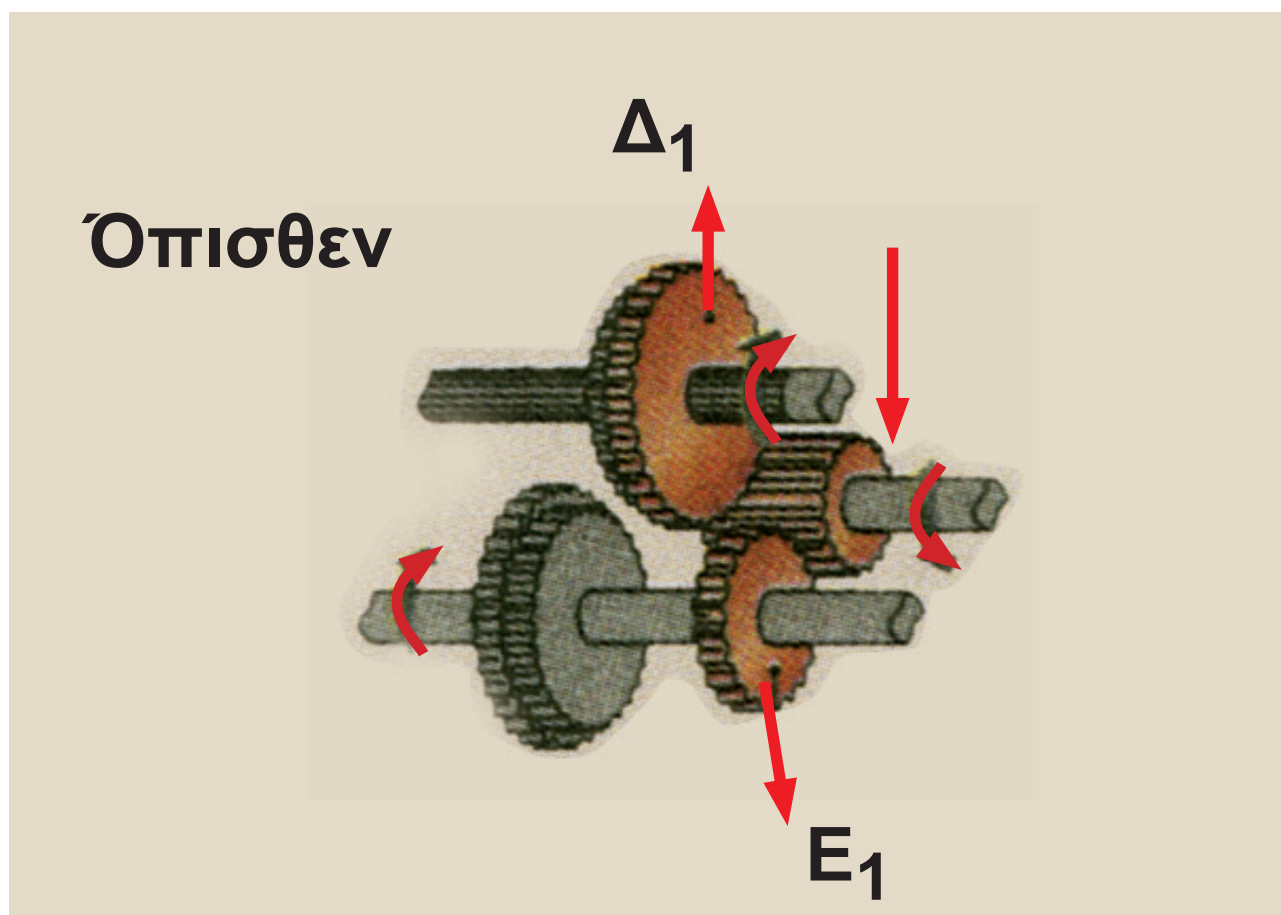
- στους τροχούς να στρέφονται πιο αργά από τον κινητήρα,
- να μεταβάλλουμε, ανάλογα με τις ανάγκες της στιγμής, τη ροπή του ζεύγους δυνάμεων¹ που ασκείται στους κινητήριους τροχούς.

¹ Δύο αντίθετες δυνάμεις με ίσα μέτρα και διαφορετικούς φορείς αποτελούν ζεύγος. Το μέτρο της ροπής του ζεύγους είναι ίσο με το γινόμενο του μέτρου των δυνάμεων επί την κάθετη απόσταση μεταξύ των φορέων τους ($\tau = F\ell$). Η ροπή ενός ζεύγους είναι ίδια ως προς οποιοδήποτε σημείο αναφοράς.

Το κιβώτιο ταχυτήτων περιλαμβάνει ένα σύστημα γραναζιών διαφορετικών διαμέτρων.

Αποσυμπλέκουμε πατώντας το αμπραγιάζ. Με το μοχλό των ταχυτήτων φέρνουμε σε επαφή ένα γρανάζι του δευτερεύοντος άξονα (έξοδος του κιβωτίου) με ένα του ενδιάμεσου άξονα (σχ. 4.80). Αφήνουμε το αμπραγιάζ, ο στροφαλοφόρος θέτει σε περιστροφή τον ενδιάμεσο άξονα (είσοδος του κιβωτίου) κι αυτός με τη σειρά του το δευτερεύοντα άξονα.





Σχήμα 4-80.

Στην πρώτη,
το γρανάζι Δ_1 του δευτερεύοντος άξο-
να συναρμόζει με το γρανάζι E_1 του
ενδιάμεσου (σχ. 4.80). Η ακτίνα του
γρاناζιού Δ_1 (R_{Δ_1}) είναι περίπου
τέσσερις φορές μεγαλύτερη από
την ακτίνα του γρاناζιού E_1 (R_{E_1}).

Ανάμεσα στις γωνιακές ταχύτητες περιστροφής των γραναζιών ισχύει

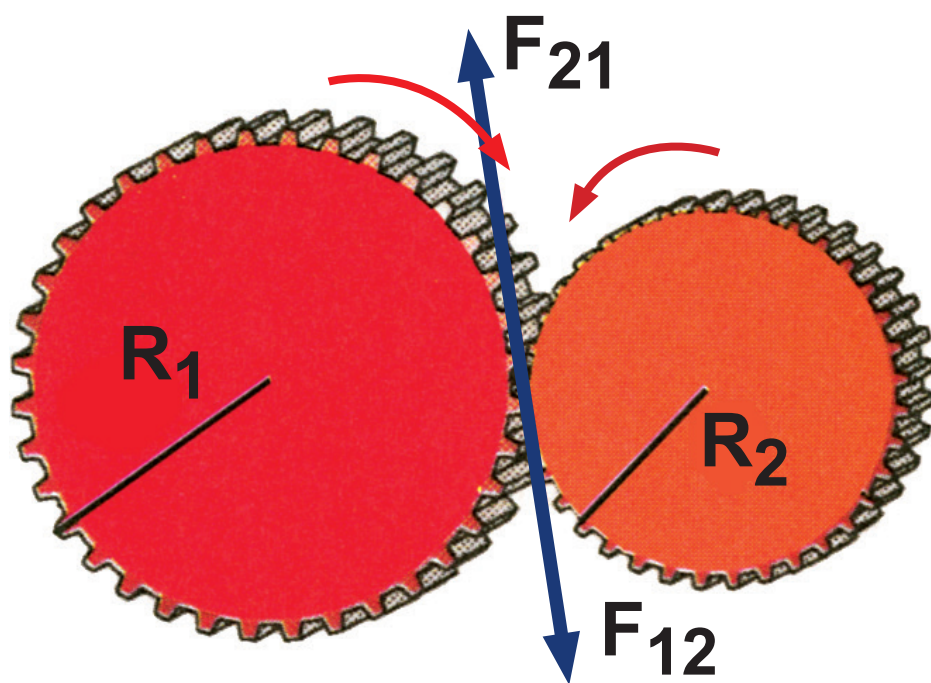
η σχέση
$$\frac{\omega_{\Delta_1}}{\omega_{E_1}} = \frac{R_{E_1}}{R_{\Delta_1}}$$

από την οποία προκύπτει ότι η συχνότητα περιστροφής του Δ_1 είναι τέσσερις φορές μικρότερη από αυτήν του E_1 . Ταυτόχρονα η ροπή του ζεύγους που στρέφει τα γρανάζια θα είναι τέσσερις φορές μεγαλύτερη για το Δ_1 σε σχέση με το E_1 γιατί ενώ οι δυνάμεις είναι ίσες η απόσταση μεταξύ των φορέων τους τετραπλασιάζεται στο Δ_1 (σχ. 4.81).

Το αυτοκίνητο δε μπορεί να αναπτύξει μεγάλες ταχύτητες, όμως προέκυψε ένα άλλο όφελος. Το κινητήριο ζεύγος δυνάμεων μετασχηματίσθηκε σ' ένα ζεύγος, που σε τελική ανάλυση ασκείται στους

τροχούς, με μια πολύ σημαντικότερη ροπή. Είναι ικανό να ξεκινήσει το αυτοκίνητο ή να το ανεβάσει σε ανηφοριές με μεγάλη κλίση.

Πατώντας το αμπραγιάζ αποσυνμπλέκουμε το στροφαλοφόρο από το κιβώτιο ταχυτήτων και με το μοχλό των ταχυτήτων μετακινούμε το δευτερεύοντα άξονα σε σχέση με τον ενδιάμεσο.



$$F_{12} = F_{21}$$

$$\omega_1 < \omega_2$$

$$\tau_1 > \tau_2$$

Σχήμα 4-81.

Στη δευτέρα,

το γρανάζι Δ_2 συναρμόζει με το γρανάζι E_2 (σχ. 4.80). Η σχέση των ακτί-

νων τώρα είναι $\frac{R_{\Delta_2}}{R_{E_2}} = \frac{2}{1}$. Η συχνό-

τητα περιστροφής του Δ_2 είναι η μισή αυτής του E_2 και η ροπή του κινητήριου ζεύγους διπλάσια.

Στην τρίτη ο δευτερεύων άξονας στρέφεται με συχνότητα ίση με τα

$\frac{2}{3}$ αυτής του ενδιαμέσου, στην τε-

τάρτη οι συχνότητες είναι περίπου ίσες και στην πέμπτη η περιστροφή είναι γρηγορότερη στην έξοδο του κιβωτίου ταχυτήτων απ' ότι στην είσοδο. Η πέμπτη ταχύτητα επιτρέπει να πετυχαίνουμε μεγάλες ταχύτητες καταναλώνοντας σχετικά

Λιγότερο καύσιμο. Όταν έχουμε πέμπτη ταχύτητα, όμως, η ροπή του ζεύγους έχει μειωθεί πολύ και είναι δύσκολο να επιταχύνουμε το αυτοκίνητο αν χρειαστεί, π.χ. σ' ένα προσπέρασμα.

Στην όπισθεν,

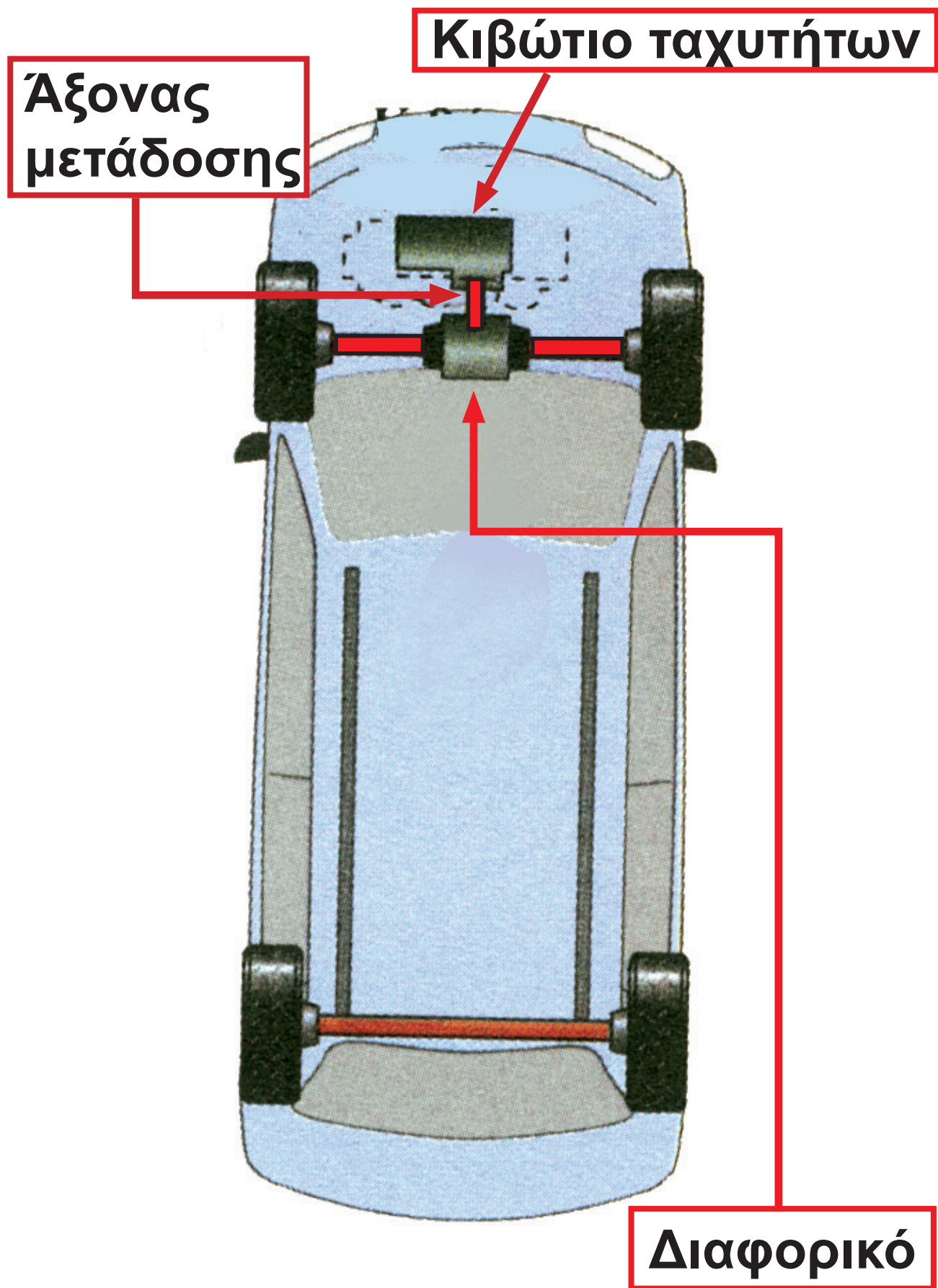
ο δευτερεύων άξονας γυρνάει με ανάποδη φορά από αυτήν που γυρνούσε στις άλλες ταχύτητες. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μεσολάβηση ενός τρίτου γραναζιού ανάμεσα στο δευτερεύοντα άξονα και τον ενδιάμεσο (σχ. 4.80).

Οι σχέσεις ακτίνων των γραναζιών ποικίλουν από αυτοκίνητο σε αυτοκίνητο.

Άξονας Μετάδοσης και Διαφορικό

Ανάμεσα στην έξοδο από το κιβώτιο ταχυτήτων και τους κινητήριους τροχούς βρίσκουμε έναν ή περισσότερους άξονες μετάδοσης και το διαφορικό.

Όταν το αυτοκίνητο στρίβει ο τροχός που βρίσκεται στο εσωτερικό της στροφής διανύει μικρότερο διάστημα από τον εξωτερικό τροχό. Εφόσον το τόξο της στροφής για τον εσωτερικό τροχό είναι μικρότερο θα πρέπει να στρέφεται εκείνη την ώρα με μικρότερη συχνότητα από τον εξωτερικό.



Σχήμα 4-82.

Διαφορικό είναι εκείνος ο μηχανισμός που βρίσκεται στο μέσον του άξονα κίνησης (σχ. 4.82) και μοιράζει τις στροφές στους δυο τροχούς ώστε να γυρίζει ο καθένας με την κατάλληλη συχνότητα. Το διαφορικό επίσης μοιράζει στους τροχούς την ισχύ που φτάνει από τον κινητήρα.

Αν ο άξονας κίνησης ήταν μονοκόμματος το αυτοκίνητο θα είχε πολύ βαρύ τιμόνι, θα ήταν πολύ δύσκολο στην οδήγηση και θα έφθειρε πολύ γρήγορα τα ελαστικά του.

Πίνακες Σταθερών - Χρήσιμα Μεγέθη

Θεμελιώδεις Φυσικές Σταθερές

106 / 259

Όνομα	Σύμβολο	Τιμή
Ταχύτητα του φωτός	c	$3 \times 10^8 \text{ m/s}$
Φορτίο ηλεκτρονίου (απόλυτη τιμή)	e	$1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

Όνομα	Σύμβολο	Τιμή
Βαρυτική σταθερά (σταθερά της παγκόσμιας έλξης)	G	$6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{Kg}^2$
Σταθερά Planck	h	$6,626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
Σταθερά Boltzmann	k	$1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
Σταθερά Avogadro	N_A	$6,023 \times 10^{23} \text{ μόρια/mol}$
Σταθερά των αερίων	R	$8,314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$
Μάζα ηλεκτρονίου	m_e	$9,1 \times 10^{-31} \text{ Kg}$

Όνομα	Σύμβολο	Τιμή
Μάζα νετρονίου	m_n	$1,675 \times 10^{-27} \text{ Kg}$
Μάζα πρωτονίου	m_p	$1,673 \times 10^{-27} \text{ Kg}$
Διηλεκτρική σταθερά του κενού	ϵ_0	$8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$
Σταθερά Coulomb	K_C	$9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$
Μαγνητική διαπερατότητα του κενού	μ_0	$4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A} \cdot \text{m}$

Άλλες Χρήσιμες Σταθερές

Μηχανικό ισοδύναμο της θερμότητας

$$4,186 \text{ J/cal}$$

Κανονική ατμοσφαιρική πίεση

$$1 \text{ atm} \quad 1,013 \times 10^5 \text{ Pa (N/m}^2\text{)}$$

Απόλυτο μηδέν

$$0 \text{ K} \quad -273 \text{ }^\circ\text{C}$$

Ηλεκτρονιοβόλτ

$$1 \text{ eV} \quad 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Ενέργεια ηρεμίας ηλεκτρονίου

$$mc^2 \quad 0,511 \text{ MeV}$$

Γραμμομοριακός όγκος ιδανικού αερίου (0°C , 1 atm)

$$V_{\text{mol}} \quad 22,4 \text{ L/mol}$$

Λεξιλόγιο Όρων

A

αδρανειακό σύστημα: σύστημα αναφοράς στο οποίο ισχύει η αρχή της αδράνειας του Newton.

αεροδύναμη: η δύναμη που δέχεται από τον αέρα η πτέρυγα του αεροπλάνου κατά τη διάρκεια της πτήσης του.

αιθέρας: υποθετικό αβαρές ελαστικό μέσο, η παρουσία του οποίου θεωρήθηκε απαραίτητη για τη διάδοση του φωτός.

ακτίνες Röntgen: ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μήκη κύματος μεταξύ 10^{-8} και 10^{-13}m . Είναι αποτέλεσμα της επιβράδυνσης των ηλεκτρονίων

που προσπίπτουν σε μεταλλικές επιφάνειες με μεγάλη ταχύτητα ή της αποδιέγερσης των ατόμων του μετάλλου.

ακτίνες γ: ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μήκη κύματος μεταξύ 10^{-10} και 10^{-14} m. Εκπέμπονται από πυρήνες ραδιενεργών στοιχείων.

ακτίνες X: οι ακτίνες Roentgen.

ακτινοβολία: ενέργεια που εκπέμπεται με μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

αμορτισέρ: μηχανισμός που χρησιμοποιείται για την απόσβεση των ταλαντώσεων των αυτοκινήτων.

ανάκλαση κύματος: το φαινόμενο κατά το οποίο όταν το κύμα συναντήσει τη διαχωριστική επιφάνεια δυο μέσων επιστρέφει στο πρώτο μέσο ακολουθώντας ορισμένο δρόμο.

άξονας περιστροφής (στερεού σώματος): η ευθεία που ενώνει τα σημεία τα οποία παραμένουν ακίνητα κατά την περιστροφή του σώματος.

απεριοδική ταλάντωση: η κίνηση ενός ταλαντωτή ο οποίος δεν υπερβαίνει τη θέση ισορροπίας, λόγω ισχυρών αποσβέσεων.

απομάκρυνση: η απόσταση σώματος που ταλαντώνεται, από τη θέση ισορροπίας.

αρμονική ταλάντωση: η ταλάντωση στην οποία η απομάκρυνση του ταλαντωτή είναι αρμονική συνάρτηση του χρόνου.

αρχική φάση: η τιμή που έχει τη χρονική στιγμή μηδέν η φάση ενός μεγέθους που μεταβάλλεται αρμονικά με το χρόνο.

Γ

γενική θεωρία της σχετικότητας: η θεωρία της σχετικότητας που συμπεριλαμβάνει και μη αδρανειακά συστήματα - θεωρία για τη βαρύτητα.

γωνία εκτροπής: η γωνία που σχηματίζει με την αρχική της διεύθυνση η μονοχρωματική δέσμη που βγαίνει από μια οπτική διάταξη.

γωνιακή συχνότητα: μέγεθος που χαρακτηρίζει τα περιοδικά φαινόμενα, ανάλογο προς τη συχνότητα. Στην ομαλή κυκλική κίνηση συμπίπτει με το μέτρο της γωνιακής ταχύτητας.

Δ

δείκτης διάθλασης (υλικού): ο λόγος της ταχύτητας του φωτός στο κενό προς την ταχύτητά του στο υλικό αυτό.

δεσμός στάσιμου κύματος: ένα σημείο που παραμένει ακίνητο όταν στο ελαστικό μέσο στο οποίο ανήκει δημιουργείται στάσιμο κύμα.

δευτέριο: ισότοπο του υδρογόνου με μαζικό αριθμό δύο.

διάθλαση κύματος: η αλλαγή πορείας ενός κύματος κατά τη μετάβασή του από ένα μέσο σε ένα άλλο στο οποίο διαδίδεται με διαφορετική ταχύτητα.

διακρότημα: η αυξομείωση του πλάτους της ταλάντωσης που εκτελεί ένα σώμα όταν μετέχει σε δυο ταλαντώσεις της ίδιας διεύθυνσης, που έχουν το ίδιο πλάτος και συχνότητες που παρουσιάζουν μικρή διαφορά.

διάμηκες κύμα: το κύμα στο οποίο τα μόρια του ελαστικού μέσου ταλαντώνονται στη διεύθυνση της διάδοσής του.

διαμόρφωση πλάτους (AM): η τροποποίηση του πλάτους του ηλεκτρομαγνητικού κύματος που εκπέμπει ο σταθμός, από το μικροφωνικό ρεύμα.

διαμόρφωση συχνότητας (FM): η τροποποίηση της συχνότητας του ηλεκτρομαγνητικού κύματος που εκπέμπει ο σταθμός, από το μικροφωνικό ρεύμα.

διασκεδασμός (του φωτός): η εξάρτηση του δείκτη διάθλασης ενός υλικού από το μήκος κύματος.

διαστολή του χρόνου: Η φαινομενική επιβράδυνση του χρόνου

(αύξηση του χρονικού διαστήματος)
σε σώμα που κινείται με σχετικιστική ταχύτητα.

δίδυμη γένεση: η μετατροπή ενός φωτονίου σε ζεύγος ηλεκτρονίου-ποζιτρονίου.

διέγερση (ατόμου): η μετάβαση ενός ηλεκτρονίου του ατόμου σε στιβάδα με ενέργεια μεγαλύτερη από την αρχική.

διεγέρτης: το σώμα που προκαλεί εξαναγκασμένη ταλάντωση ενός ταλαντωτή- που προσφέρει περιοδικά ενέργεια σε ένα σώμα που ταλαντώνεται.

δύναμη επαναφοράς: η δύναμη που αναγκάζει ένα σώμα να ταλαντώνεται- που τείνει να επαναφέρει το σώμα στη θέση ισορροπίας.

δυναμική άνωση: η συνισταμένη της αεροδύναμης η κάθετη στην ταχύτητα.

Ε

εγκάρσιο κύμα: το κύμα στο οποίο τα μόρια του ελαστικού μέσου ταλαντώνονται κάθετα στη διεύθυνση της διάδοσής του.

ειδική θεωρία της σχετικότητας: θεωρία που διατύπωσε ο Einstein για αδρανειακά συστήματα αναφοράς. Βασικές της παραδοχές είναι: α) η ταχύτητα του φωτός είναι ανεξάρτητη από τη ταχύτητα του παρατηρητή, β) οι νόμοι της φυσικής είναι ίδιοι σε όλα τα αδρανειακά συστήματα.

έκκεντρη κρούση: η κρούση σωμάτων που οι ταχύτητές τους βρίσκονται σε παράλληλες ευθείες.

ελαστική κρούση: η κρούση κατά την οποία διατηρείται η μηχανική ενέργεια του συστήματος των σωμάτων.

ελεύθερη ταλάντωση: η ταλάντωση ενός σώματος το οποίο εκτρέπεται από τη θέση ισορροπίας και αφήνεται ελεύθερο.

έλλειμμα μάζας: η διαφορά της μάζας ενός πυρήνα από τη μάζα των συστατικών του.

ενέργεια σύνδεσης (πυρήνα): το ποσό της ενέργειας που πρέπει να προσφερθεί στον πυρήνα για να διασπαστεί στα συστατικά του.

ενέργεια ηρεμίας: το ποσό της ενέργειας (mc^2) που έχει ένα σώμα όταν ηρεμεί.

ένταση ακτινοβολίας: η ενέργεια που περνάει από τη μονάδα επιφάνειας στη μονάδα του χρόνου.

εξαναγκασμένη ταλάντωση: η ταλάντωση που γίνεται με την περιοδική προσφορά ενέργειας στο ταλαντούμενο σύστημα.

εξίσωση κύματος: η σχέση που δίνει την απομάκρυνση των σημείων του μέσου στο οποίο διαδίδεται το κύμα κάθε χρονική στιγμή.

εξίσωση συνέχειας: η σχέση μεταξύ της ταχύτητας ενός ασυμπίεστου ρευστού και της διατομής του σωλήνα στον οποίο κινείται.

εσωτερική τριβή ρευστού: η τριβή που αναπτύσσεται μεταξύ των μορίων του ρευστού λόγω της κίνησής του.

έργο εξαγωγής: η ελάχιστη ενέργεια που πρέπει να πάρει ένα ηλεκτρόνιο για να εγκαταλείψει την επιφάνεια ενός μετάλλου.

Η

ηλεκτρική ταλάντωση: εναλλασσόμενο ρεύμα μεγάλης συχνότητας που παίρνουμε από κύκλωμα LC όταν φορτίσουμε τον πυκνωτή.

ηλεκτρομαγνητικό κύμα: η ταυτόχρονη διάδοση ενός ηλεκτρικού και ενός μαγνητικού πεδίου στο χώρο.

Ι

ιδιομήκος (αντικειμένου): βλ. «μήκος ηρεμίας».

ιδιόχρονος (αδρανειακού συστήματος): ο χρόνος που μετράει ένα ρολόι ακίνητο σε ένα αδρανειακό σύστημα.

ιξώδες: η εσωτερική τριβή μεταξύ των μορίων ενός ρευστού- συντελεστής που δείχνει πόσο παχύρρευστο είναι ένα υγρό.

Κ

κβαντισμένο μέγεθος: κάθε μέγεθος που παίρνει διακριτές τιμές που είναι πολλαπλάσια μιας ελάχιστης.

κέντρο μάζας (σώματος): το σημείο στο οποίο μπορεί να θεωρηθεί συγκεντρωμένη όλη η μάζα ενός σώματος.

κοιλία στάσιμου κύματος: ένα σημείο που ταλαντώνεται με το μέγιστο πλάτος, όταν στο ελαστικό μέσο στο οποίο ανήκει σχηματίζεται στάσιμο κύμα.

κρίσιμη γωνία: η μέγιστη τιμή της γωνίας πρόσπτωσης στη διαχωριστική επιφάνεια δύο διαφανών υλικών για την οποία το φως περνάει από το πρώτο υλικό στο δεύτερο στο οποίο το φως διαδίδεται με μεγαλύτερη ταχύτητα.

κρούση κεντρική: η κρούση σωμάτων που οι ταχύτητές τους βρίσκονται στην ίδια ευθεία.

κύμα μηχανικό: μια διαταραχή που μεταδίδεται σε ένα ελαστικό μέσο.

κυματοπακέτο: κύμα περιορισμένο στο χώρο.

M

μάζα ηρεμίας: η μάζα που έχει ένα σώμα όταν ηρεμεί.

μέλαν σώμα: σώμα που απορροφά όλες τις ακτινοβολίες που πέφτουν πάνω του.

μετασχηματισμοί Lorentz: οι σχέσεις που συνδέουν τις συντεταγμένες της θέσης και χρόνου ενός σώματος σε δυο αδρανειακά συστήματα αναφοράς που βρίσκονται σε σχετική κίνηση.

μετασχηματισμοί του Γαλιλαίου: οι σχέσεις που συνδέουν τις συντεταγμένες της θέσης ενός σώματος σε δυο αδρανειακά συστήματα αναφοράς που κινούνται με ταχύτητα πολύ μικρότερη από την ταχύτητα του φωτός.

μεταφορική κίνηση (στερεού σώματος): η κίνηση στην οποία όλα τα σημεία του σώματος έχουν την ίδια ταχύτητα.

μήκος ηρεμίας (αντικειμένου): το μήκος ενός αντικειμένου, όπως μετριέται στο σύστημα αναφοράς ως προς το οποίο ηρεμεί.

μήκος κύματος De Broglie: το μήκος του κύματος που αντιστοιχεί σε ένα σωματίδιο.

μήκος κύματος: η απόσταση στην οποία φτάνει το κύμα σε χρόνο μιας

περιόδου- η μικρότερη απόσταση δύο σημείων, στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος, που βρίσκονται σε φάση.

μικροκύματα: ηλεκτρομαγνητικά κύματα με μήκη κύματος μεταξύ **1mm** και **30cm**. Χρησιμοποιούνται στα ραντάρ.

μικροσκόπιο σάρωσης σήραγγας: όργανο που επιτρέπει να απεικονίσουμε αγώγιμες επιφάνειες σε ατομική κλίμακα. Η λειτουργία του βασίζεται στο φαινόμενο σήραγγας.

N

νευτώνεια ρευστά: τα ρευστά στα οποία η εσωτερική τριβή είναι γραμμική συνάρτηση της ταχύτητας ροής.

Ο

ολική εσωτερική ανάκλαση: η ανάκλαση μιας φωτεινής δέσμης που δε συνοδεύεται από διάθλαση. Γίνεται στην επιφάνεια που διαχωρίζει ένα διαφανές μέσον από ένα άλλο με μικρότερο δείκτη διάθλασης, όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη γωνία.

ορμή (υλικού σημείου): το διάνυσμα που έχει την κατεύθυνση της ταχύτητας και μέτρο ίσο με το γινόμενο της μάζας του υλικού σημείου επί το μέτρο της ταχύτητάς του.

ουράνιο τόξο: το φωτεινό τόξο που εμφανίζεται στον ουρανό, ως αποτέλεσμα της ανάκλασης και του διασκεδασμού του ηλιακού φωτός στα σταγονίδια της βροχής.

Π

poise (πουάζ): μονάδα μέτρησης του ιξώδους ενός ρευστού, ισοδύναμη με 10^{-1} Nsm^{-2} .

παροχή (σωλήνα ή ρευματικής φλέβας): το πηλίκο του όγκου dV του ρευστού που περνάει από μια διατομή του σωλήνα (ή της φλέβας) σε χρόνο dt προς το χρόνο αυτό.

περίοδος (φαινομένου): το πηλίκο του χρόνου μέσα στον οποίο ολοκληρώνονται N εναλλαγές του φαινομένου με τον αριθμό N - ο χρόνος ανάμεσα σε δυο διαδοχικές όμοιες φάσεις του φαινομένου.

πλάγια κρούση: η κρούση σωμάτων που οι ταχύτητές τους βρίσκονται σε τυχαία διεύθυνση.

πλαστική κρούση: η κρούση που οδηγεί στη συγκόλληση των σωμάτων.

ποζιτρόνιο: το αντισωματίδιο του ηλεκτρονίου - σωματίδιο με μάζα ίση με τη μάζα του ηλεκτρονίου και φορτίο $+e$.

πυρηνική σύντηξη: πυρηνική αντίδραση στη διάρκεια της οποίας πυρήνες μικρού ατομικού αριθμού συντήκονται και δίνουν βαρύτερους πυρήνες, με ταυτόχρονη έκλυση ενέργειας.

πυρηνική σχάση: πυρηνική αντίδραση στη διάρκεια της οποίας ένας πυρήνας μεγάλου ατομικού αριθμού χωρίζεται σε δυο πυρήνες μικρότερου ατομικού αριθμού με ταυτόχρονη έκλυση ενέργειας.

πυρηνικός αντιδραστήρας: η διάταξη στην οποία πραγματοποιούνται ελεγχόμενες πυρηνικές αντιδράσεις.

P

ραδιοκύματα: ηλεκτρομαγνητικά κύματα που προκύπτουν από ταλαντούμενα ηλεκτρικά δίπολα και χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνίες.

ρευματική γραμμή: η γραμμή που συνδέει τις διαδοχικές θέσεις ενός μορίου του ρευστού.

ρευστά: σώματα που δεν έχουν δικό τους σχήμα- τα υγρά και τα αέρια.

ροπή αδράνειας (ως προς άξονα): το μέτρο της αδράνειας των σωμάτων στη στροφική κίνηση- ορίζεται ως το άθροισμα $\sum m_i \cdot r_i^2$, όπου m_i μια στοιχειώδης μάζα του σώματος και r_i η απόστασή της από τον άξονα.

ροπή δύναμης (ως προς άξονα):
διάνυσμα που έχει τη διεύθυνση του άξονα και μέτρο το γινόμενο του μέτρου της συνιστώσας της δύναμης που βρίσκεται σε επίπεδο κάθετο στον άξονα επί την απόστασή της από τον άξονα.

ροπή δύναμης (ως προς σημείο):
διάνυσμα κάθετο στο επίπεδο που ορίζει το σημείο και ο φορέας της δύναμης και μέτρο το γινόμενο του μέτρου της δύναμης επί την απόσταση του σημείου από τον φορέα της δύναμης.

Σ

σταθερά απόσβεσης: η σταθερά αναλογίας στη σχέση που συνδέει τη δύναμη η οποία προκαλεί την απόσβεση μιας ταλάντωσης με την ταχύτητα του ταλαντωτή.

στάσιμο κύμα: η κίνηση που κάνει ένα μέσο στο οποίο διαδίδονται ταυτόχρονα, με αντίθετη φορά, δυο κύματα της ίδιας συχνότητας και του ίδιου πλάτους.

στιγμιότυπο κύματος: η εικόνα που παρουσιάζει μια χρονική στιγμή το ελαστικού μέσο στο οποίο διαδίδεται ένα κύμα - η γραφική παράσταση της συνάρτησης $y = f(x, t)$ για ορισμένη τιμή του t .

στρόβιλοι: περιοχές στις οποίες το ρευστό κάνει περιστροφική κίνηση.

στροφική κίνηση: η κίνηση ενός στερεού γύρω από άξονα- η κίνηση στην οποία όλα τα σημεία του στερεού έχουν την ίδια γωνιακή ταχύτητα.

στροφορμή στερεού σώματος: το άθροισμα των στροφορμών των στοιχειωδών τμημάτων που απαρτίζουν το στερεό.

στροφορμή συστήματος σωμάτων: το άθροισμα των στροφορμών των σωμάτων που απαρτίζουν το σύστημα.

στροφορμή υλικού σημείου (που κάνει κυκλική κίνηση): διάνυσμα κάθετο στο επίπεδο της τροχιάς με μέτρο το γινόμενο του μέτρου της ορμής του υλικού σημείου επί την ακτίνα της τροχιάς του.

στρωτή ροή: η κίνηση ενός ρευστού, όταν δε σχηματίζονται στρόβιλοι.

συμβολή κυμάτων: η ταυτόχρονη διάδοση δυο ή περισσότερων κυμάτων στην ίδια περιοχή του χώρου.

συμβολόμετρο: όργανο που μας επιτρέπει να προσδιορίζουμε με μεγάλη ακρίβεια τη θέση των κροσσών συμβολής του φωτός.

σύνθεση ταλαντώσεων: η μελέτη της κίνησης ενός σώματος που μετέχει σε περισσότερες από μια ταλαντώσεις.

συντονισμός: το φαινόμενο κατά το οποίο ένα σώμα κάνει εξαναγκασμένη ταλάντωση με το μέγιστο πλάτος.

συστολή του μήκους: Η φαινομενική σμίκρυνση ενός σώματος που κινείται με σχετικιστική ταχύτητα.

συχνότητα κατωφλίου: η ελάχιστη συχνότητα που πρέπει να έχει μια φωτεινή δέσμη για να προκαλέσει εκπομπή φωτοηλεκτρονίων από ένα μέταλλο.

συχνότητα (φαινομένου): ο αριθμός των επαναλήψεων του φαινομένου στη μονάδα του χρόνου.

Τ

ταλάντωση (μηχανική): Παλινδρομική κίνηση γύρω από μια θέση ισορροπίας.

πλάτος ταλάντωσης: η μεγαλύτερη τιμή της απομάκρυνσης του ταλαντωτή.

τάση αποκοπής: η τιμή της τάσης μεταξύ των ηλεκτροδίων ενός φωτοκύτταρου για την οποία διακόπτεται το ρεύμα.

τυρβώδης ροή: η ροή ενός ρευστού όταν σχηματίζονται στρόβιλοι.

Υ

υδροστατική πίεση: η πίεση των υγρών που οφείλεται στο βάρος τους.

υπεριώδης ακτινοβολία: αόρατη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μήκη κύματος από **60 nm** μέχρι **380 nm**.

Φ

φαινόμενο Compton: ο σκεδασμός της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τα σωματίδια της ύλης. Συνοδεύεται από αύξηση του μήκους κύματος της ακτινοβολίας.

φαινόμενο Doppler: η εμφάνιση διαφοράς ανάμεσα στη συχνότητα του εκπεμπόμενου κύματος και της συχνότητας που αντιλαμβάνεται ένας παρατηρητής όταν μεταβάλλεται η απόστασή του από την πηγή του κύματος.

φαινόμενο σήραγγας: η διέλευση σωματιδίων μέσα από ένα φράγμα δυναμικού χωρίς να έχουν την απαραίτητη ενέργεια, όπως απαιτεί η κλασική θεωρία.

φωτοηλεκτρικό φαινόμενο: η απόσπαση ηλεκτρονίων από ένα μέταλλο όταν στην επιφάνειά του

προσπίπτει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία κατάλληλης συχνότητας.

φλέβα: το σχήμα που ορίζεται από τις ρευματικές γραμμές που αντιστοιχούν στα σημεία του περιγράμματος μιας επιφάνειας που βρίσκεται στη ροή του ρευστού.

φώραση: η διαδικασία με την οποία διαχωρίζεται το μικροφωνικό ρεύμα από το φέρον κύμα.

φωτοκύτταρο: διάταξη με την οποία οι αυξομειώσεις στην ένταση μιας φωτεινής δέσμης, κατάλληλης συχνότητας, μετατρέπονται σε αυξομειώσεις ηλεκτρικού ρεύματος.

φωτόνιο: το κβάντο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Σωματίο μηδενικής μάζας ηρεμίας.

Αλφαβητικό Ευρετήριο

A

αδρανειακό σύστημα	Z' 34
ακτίνες Röntgen	B' 102, Θ' 37
ακτίνες γ	B' 102
ακτίνες X	B' 102, Θ' 37
ακτινοβολία μέλανος σώματος	Θ' 7
ανάκλαση του φωτός	B' 104
ανάλυση του φωτός	Γ' 18
αξιώματα της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας	H' 22
απεριοδική ταλάντωση	A' 71
απομάκρυνση	A' 24
αρμονική ταλάντωση	A' 24
αρχή διατήρησης της στροφορμής	E' 92

αρχή της αβεβαιότητας	Θ' 57
αρχή του Pascal	Δ' 12
αρχική φάση	Α' 30

Γ

γενική θεωρία της σχετικότητας	Η' 104
γωνία εκτροπής	Γ' 20
γωνιακή επιτάχυνση	Ε' 14
γωνιακή συχνότητα	Α' 21

Δ

δείκτης διάθλασης (υλικού)	Β' 112
δεσμός στάσιμου κύματος	Β' 56
διάθλαση του φωτός	Β' 110
διακρότημα	Α' 114, Α' 116
διάμηκες κύμα	Β' 14
διαμόρφωση κατά πλάτος	Β' 83
διασκεδασμός (του φωτός)	Γ' 18

διαστολή του χρόνου
διαφορικό
δίδυμη γένεση
διεγέρτης
δύναμη επαναφοράς

H' 30
ΣΤ' 103
H' 79
Α' 82
Α' 35

Ε

εγκάρσιο κύμα
έκκεντρη κρούση
ελαστική κρούση
ελεύθερη ταλάντωση
έλλειμμα μάζας
ενέργεια σύνδεσης
ενέργεια ηρεμίας
εξαναγκασμένη ταλάντωση
(ηλεκτρ.)
εξαναγκασμένη ταλάντωση
(μηχαν.)

B' 12
Z' 14
Z' 18, Z' 24
Α' 80
H' 78
H' 85
H' 77
Α' 94
Α' 82

εξίσωση Schrödinger	Θ' 69
εξίσωση Bernoulli	Δ' 39
εξίσωση κύματος	Β' 23
εξίσωση στάσιμου κύματος	Β' 53
εξίσωση συνέχειας	Δ' 27
εξωτερικό γινόμενο διανυσμάτων	ΣΤ' 84
επαλληλία κυμάτων	Β' 28
έργο εξαγωγής	Θ' 28
εσωτερική τριβή	Δ' 52

Η

ηλεκτρική ταλάντωση	Α' 51
ηλεκτρομαγνητικό κύμα	Β' 65
ηχοκαρδιογράφημα Doppler	Ζ' 139

Θ

θεμελιώδης νόμος στροφικής κίνησης	Ε' 63
---------------------------------------	-------

θεώρημα Steiner

Ε' 56

θεώρημα Torricelli

Δ' 44

I

ιδανικά υγρά

Δ' 19

ιδιομήκος

Η' 44

ιδιοσυχνότητα

Α' 80

ιδιόχρονος

Η' 30

ιξώδες

Δ' 52

K

καμπύλωση του χωροχρόνου **Η' 115**

κβαντικός αριθμός **Θ' 17**

κέντρο μάζας (συστήματος) **Z' 55**

κέντρο μάζας (σώματος) **Ε' 20**

κιβώτιο ταχυτήτων **ΣΤ' 93**

κίνηση του κέντρου μάζας **Z' 58**

κινητική ενέργεια:

- στην αρμονική ταλάντωση	A' 45
- στη στροφική κίνηση	E' 101
κοιλία στάσιμου κύματος	B' 56
κρίσιμη γωνία	Γ' 8
κρούση κεντρική	Z' 13
κύλιση τροχού	E' 17
κύμα ελαστικότητας	B' 8
κυματοπακέτο	Θ' 60
κυματοσυνάρτηση	Θ' 69

M

μάζα ηρεμίας	H' 77
μέλαν σώμα	Θ' 12
μετασχηματισμοί Lorentz	H' 48, H' 60
μετασχηματισμοί έντασης ηλεκτρικού - μαγνητικού πεδίου	H' 91
μετασχηματισμοί του Γαλιλαίου	Z' 49

μεταφορική κίνηση	Ε' 8
μήκος ηρεμίας	Η' 44
μήκος κύματος	Β' 18
μήκος κύματος De Broglie	Θ' 52
μηχανικά κύματα	Β' 8
μικροκύματα	Β' 95
μικροσκόπιο σάρωσης σήραγγας	Θ' 131
μιόνιο	Η' 35

N

νευτώνεια ρευστά	Δ' 57
νόμος μετατόπισης του Wien	Θ' 14
νόμος του Snell	Β' 113

O

ολική εσωτερική ανάκλαση	Γ' 7
ουράνιο τόξο	Γ' 23

Π

poise (πουάζ)	Δ' 56
παράδοξο των διδύμων	Η' 164
παροχή	Δ' 23, Δ' 24
πείραμα Michelson- Morley	Η' 11
περίοδος	Α' 19
περίοδος ηλεκτρικής ταλάντωσης	Α' 58
πηγάδι δυναμικού	
- με άπειρο βάθος	Θ' 80
- με ορισμένο βάθος	Θ' 86
πλάγια κρούση	Ζ' 14, Ζ' 25
πλαστική κρούση	Ζ' 19, Ζ' 31
πλάτος ταλάντωσης	Α' 25
ποζιτρόνιο	Η' 81
προώθηση πυραύλου	Ζ' 67

Ρ

ραδιοκύματα	Β' 94
ρευματική γραμμή	Δ' 20

ρευστά	Δ' 19
ροπή αδράνειας (ως προς άξονα)	Ε' 51
ροπή δύναμης (ως προς άξονα)	Ε' 28
ροπή δύναμης (ως προς σημείο)	Ε' 33

Σ

σταθερά απόσβεσης	Α' 68
σταθερά επαναφοράς	Α' 35
στάσιμο κύμα	Β' 48
στιγμιότυπο κύματος	Β' 31
στροφική κίνηση	Ε' 12
στροφορμή στερεού σώματος	Ε' 81
στροφορμή συστήματος	Ε' 86
στροφορμή υλικού σημείου	Ε' 78
στρωτή ροή	Δ' 20
συμβολή κυμάτων	Β' 34

συμβολόμετρο	H' 14
σύνθεση ταλαντώσεων	A' 104
σύνθετη κίνηση στερεού	E' 14
συνθήκη ισορροπίας στερεού	E' 44
συνθήκη κανονικοποίησης	Θ' 72
συντονισμός	A' 85
συντονισμού εφαρμογές	A' 97
σύστημα αναφοράς κέντρου μάζας	Z' 55
συστολή του μήκους	H' 44
συχνότητα	A' 20
συχνότητα κατωφλίου	Θ' 34
σχετικιστική ορμή	H' 70
σχετικιστική ενέργεια	H' 77
σωλήνας	Δ' 22

T

ταλάντωση (μηχανική)	A' 23
τάση αποκοπής	Θ' 27

Υ

υδροστατική πίεση	Δ' 10
υπέρθεση κυμάτων	Β' 28
υπεριώδης ακτινοβολία	Β' 100

Φ

φαινόμενο Compton	Θ' 37
φαινόμενο Doppler	Ζ' 72
φαινόμενο σήραγγας	Θ' 93
φάση ταλάντωσης	Α' 30
φέρουσα συχνότητα	Β' 82
φθίνουσα ηλεκτρική ταλάντωση	Α' 78
φθίνουσα ταλάντωση	Α' 64
φλέβα ρευματική	Δ' 22
φώραση	Β' 90
φωτοηλεκτρικό φαινόμενο	Θ' 22
φωτοκύτταρο	Θ' 23
φωτόνιο	Θ' 29

Χ

χωροχρόνος	Η' 24
------------	-------

Βιβλιογραφία

1. Πανεπιστημιακή Φυσική Hugh D. Young Εκδόσεις Παπαζήση.
2. Physics for scientists & engineers Serway.
3. Φυσική Halliday Resnick Εκδόσεις Πνευματικός.
4. Halliday - Resnick - Walker Fundamentals of Physics Extended (fifth edition).
5. F.J.Keller - W.E.Gettys - M.J.Skove Physics (second edition).
6. Κεφάλαια σύγχρονης Φυσικής Halliday Resnick Εκδόσεις Πνευματικός.
7. Οι έννοιες της Φυσικής Paul G. Hewitt Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.

- 8. Εισαγωγή στην Ηλεκτροδυναμική David J. Griffiths
Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.**
- 9. Μαθήματα Φυσικής (Ηλεκτρισμός - Μαγνητισμός) πανεπιστήμιο Berkley Edward Purcell
μετάφραση και έκδοση ομάδα καθηγητών ΕΜΠ.**
- 10. Κλασσική και σύγχρονη Φυσική Kenneth W. Ford Εκδόσεις Πνευματικός.**
- 11. Κβαντομηχανική Ι. Στέφανος Τραχανάς Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.**
- 12. Η Φυσική σήμερα Ε.Ν. Οικονόμου Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.**

- 13. Η εξέλιξη των ιδεών στη Φυσική
Einstein - Infeld Εκδόσεις Δω-
δώνη.**
- 14. Η ελαφρότητα της Βαρύτητας
Jayant Narlikar Εκδόσεις
Τροχαλία.**
- 15. Ιστορία της Φυσικής Emilio Segre
Εκδόσεις Δίαυλος.**
- 16. Φυσική Β΄ Ενιαίου Λυκείου (ειδί-
κευση) Υπουργείο Παιδείας Κύ-
προς.**
- 17. Κ.Δ. Αλεξόπουλος - Δ.Ι. Μαρίνος
Γενική Φυσική. Εκδόσεις ΟΛΥ-
ΜΠΙΑ.**
- 18. Κβαντικό σύμπαν Tony Hey &
Patrick Walters, εκδόσεις Κάτο-
πτρο.**

**19. 3000 solved problems in physics
Alvin Halpern, Ph.D Schaum's
Mc Graw Hill.**

**20. Echocardiography Harvey
Feigenbaum fourth edition Lea
& Febigep.**

**21. String and sticky tape
experiments by R.D.Edge.**

**22. Turning the World Inside Out by
Robert Ehrlich.**

Περιεχόμενα

4 Μηχανική στερεού σώματος	—
Σύνοψη	6
Δραστηριότητες	10
Ερωτήσεις	16
Ασκήσεις	43
Προβλήματα	65
Ένθετο. Εξωτερικό γινόμενο	84
Ένθετο. Κιβώτιο ταχυτήτων και μετάδοση κίνησης στο αυτοκίνητο	93
Ένθετο	84
Παραρτήματα	_____
Πίνακες σταθερών	106
Λεξιλόγιο Όρων	110
Αλφαβητικό ευρετήριο	136
Βιβλιογραφία	147

Βάσει του ν. 3966/2011 τα διδακτικά βιβλία του Δημοτικού, του Γυμνασίου, του Λυκείου, των ΕΠΑ.Λ. και των ΕΠΑ.Σ. τυπώνονται από το ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ και διανέμονται δωρεάν στα Δημόσια Σχολεία. Τα βιβλία μπορεί να διατίθενται προς πώληση, όταν φέρουν στη δεξιά κάτω γωνία του εμπροσθόφυλλου ένδειξη «ΔΙΑΤΙΘΕΤΑΙ ΜΕ ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ». Κάθε αντίτυπο που διατίθεται προς πώληση και δεν φέρει την παραπάνω ένδειξη θεωρείται κλεψίτυπο και ο παραβάτης διώκεται σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 7 του νόμου 1129 της 15/21 Μαρτίου 1946 (ΦΕΚ 1946,108, Α').

Απαγορεύεται η αναπαραγωγή οποιουδήποτε τμήματος αυτού του βιβλίου, που καλύπτεται από δικαιώματα (copyright), ή η χρήση του σε οποιαδήποτε μορφή, χωρίς τη γραπτή άδεια του Υπουργείου Παιδείας, Θρησκευμάτων και Αθλητισμού / ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ.