Φυσική Β Λυκειου, Θετικού Προσανατολισμού
2ο Φυλλάδιο - Ομαλή Κυκλική Κίνηση

Επιμέλεια: Δρ. Μιχάλης Ε. Καραδημητρίου
http://www.perifysikhs.com

Οι έννοιες που σχετίζονται με την μελέτη της κυκλικής κίνησης είναι βασικές για την μελέτη σύνθετων κινήσεων σωμάτων. Στην Γ Λυκείου θα αναπτυχθούν αναλυτικά οι μέθοδοι για την μελέτη αυτών των κινήσεων. Παρακάτω παραθέτω βασικές έννοιες για την μελέτη της Ομαλής Κυκλικής κίνησης που θα μας είναι χρήσιμες και αργότερα.

1. Περιοδικά Φαινόμενα

Ονομάζονται τα φαινόμενα που επαναλαμβάνονται κατά τον ίδιο τρόπο σε ίσα χρονικά διαστήματα. Τέτοια φαινόμενα είναι η κυκλική ομαλή κίνηση, η κίνηση του εκκρεμούς κ.ά. Κάθε περιοδικό φαινόμενο χαρακτηρίζεται από την **Περίοδο** (T) και τη **Συχνότητα** (f) του.

- **Περίοδος (T)** ενός περιοδικού φαινομένου είναι ο χρόνος που απαιτείται για μια πλήρη επανάληψη του φαινομένου. Αν σε χρόνο t γίνονται N επαναλήψεις του φαινομένου, τότε η περίοδος είναι ίση με το πηλίκο:

$$T = \frac{t}{N} \tag{1}$$

  Μονάδα μέτρησης της περιόδου είναι το 1 s.

- **Συχνότητα (f)** ενός περιοδικού φαινομένου είναι το πηλίκο του αριθμού N των επαναλήψεων του φαινομένου σε ορισμένο χρόνο t, προς το χρόνο t. Δηλαδή:

$$f = \frac{N}{t} \tag{2}$$

  Μονάδα μέτρησης της συχνότητας είναι το 1 Hz *ή 1* s^{-1}

Από τον ορισμό τους, τα μεγέθη περίοδος και συχνότητα είναι αντίστροφα και συνδέονται με την σχέση:

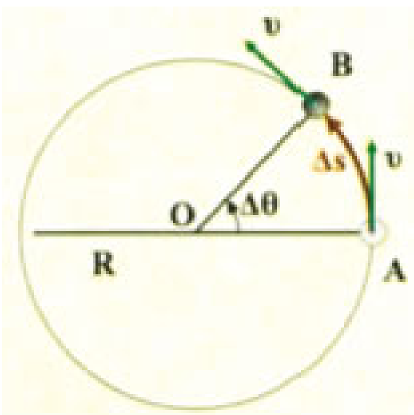
$$f = \frac{1}{T} \tag{3}$$

Η παραπάνω σχέση προκύπτει εύκολα από τον ορισμό της συχνότητας, γιατί σε χρόνο μιας περιόδου έχει εκτελεστεί μια επανάληψη του φαινομένου.

2. Η κινηματική της ομαλής κυκλικής κίνησης

Η κυκλική κίνηση είναι γενικά η κίνηση που εκτελεί ένα σώμα όταν το σχήμα της τροχιάς του είναι ένας κύκλος. Ιδιαίτερο βέβαια ενδιαφέρων έχει η μελέτη της **Ομαλής Κυκλικής Κίνησης**, στην οποία το μέτρο της ταχύτητας του σώματος θα παραμένει σταθερή.Τέτοια κίνηση είναι η κίνηση της Γης γύρω από τον ήλιο, η κίνηση ενός σημείου του γνωστού μας cd κλπ. Στην ομαλή κυκλική κίνηση το σώμα σε ίσα διαστήματα διανύει ίδια τμήματα κύκλου. Τα βασικά μεγέθη για την περιγραφή μιας τέτοιας κίνησης είναι η γραμμική και η γωνιακή ταχύτητα.

Γραμμική Ταχύτητα



Σχήμα 1: Το διάνυσμα της γραμμικής ταχύτητας

Θεωρούμε ένα σώμα μάζας m και υποθέτουμε ότι σε χρονικό διάστημα Δt διαγράφει μήκος τόξου Δs που αντιστοιχεί σε επίκεντρη γωνία $\Delta\theta$.

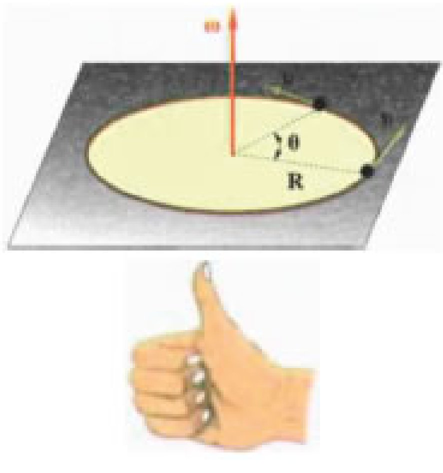
Ονομάζουμε γραμμική ταχύτητα $\vec{\upsilon}$ του υλικού σημείου, ένα διάνυσμα, το οποίο έχει μέτρο ίσο με το πηλίκο του τόξου Δs προς τον αντίστοιχο χρόνο Δt.

$$\upsilon = \frac{\Delta s}{\Delta t} \tag{4}$$

Η γραμμική ταχύτητα εφάπτεται της κυκλικής τροχιάς στη θέση που βρίσκεται κάθε φορά το υλικό σημείο και έχει τη φορά της κίνησης του. Η μονάδα μέτρησης είναι το $1m/s$. **Είναι προφανές ότι το διάνυσμα της γραμμικής ταχύτητας δεν έχει σταθερή κατεύθυνση κατά την διάρκεια της κυκλικής κίνησης, καθώς αλλάζει συνεχώς προσανατολισμό.**

Γωνιακή Ταχύτητα

Ονομάζουμε γωνιακή ταχύτητα $\vec{\omega}$ του υλικού σημείου ένα διάνυσμα, το οποίο έχει διεύθυνση κάθετη στο επίπεδο της κυκλικής τροχιάς του και μέτρο ίσο με το πηλίκο της επίκεντρης γωνιάς $\Delta\theta$ προς τον αντίστοιχο χρόνο Δt.



Σχήμα 2: Το διάνυσμα της γωνιακής ταχύτητας

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \tag{5}$$

Η κατεύθυνση της γωνιακής ταχύτητας $\vec{\omega}$ καθορίζεται με τον κανόνα του δεξιού χεριού. Η μονάδα μέτρησης της γωνιακής ταχύτητας είναι το $1rad/s$.

Προσοχή η επίκεντρη γωνιά θ έχει ως μονάδα μέτρησης το ***1 ακτίνιο*** *(1 rad) το οποίο ορίζεται ως η επίκεντρη γωνία που αντιστοιχεί σε μήκος τόξου ίσο με το μήκος της ακτίνας*

Σχέση γραμμικής και γωνιακής ταχύτητας

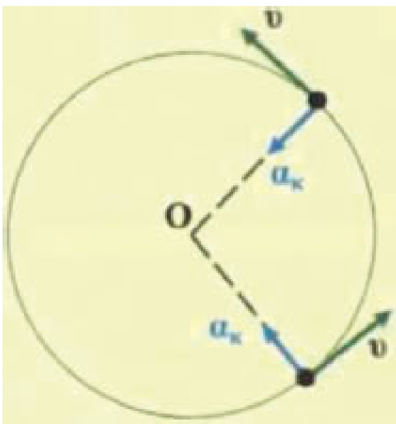
Η επίκεντρη γωνία θ που αντιστοιχεί σε μήκος τόξου S μας είναι γνωστό ότι ορίζεται από την σχέση $\theta = \frac{s}{R}$. Εύκολα προκύπτει από τον ορισμό της γωνίας έχουμε:

$$\Delta\theta = \frac{\Delta s}{R} \Rightarrow \Delta s = R \cdot \Delta\theta \Rightarrow \upsilon = \frac{\Delta s}{\Delta t} = R\frac{\Delta\theta}{\Delta t} \Rightarrow \upsilon = \omega \cdot R \qquad (6)$$

Σύμφωνα με την παραπάνω σχέση είναι σαφές ότι η γραμμική ταχύτητα είναι ανάλογη της απόστασης του σώματος από το κέντρο της κυκλικής τροχιάς. Αν για παράδειγμα μελετήσουμε την κυκλική κίνηση ενός δίσκου, όλα τα σημεία του έχουν την ίδια γωνιακή ταχύτητα, αλλά τα σημεία που βρίσκονται στην περιφέρεια του δίσκου έχουν την μέγιστη γραμμική ταχύτητα.

Κεντρομόλος επιτάχυνση

Στην κυκλική κίνηση **λόγω της μεταβολής της διεύθυνσης της γραμμικής ταχύτητας του**, το σώμα έχει κεντρομόλο επιτάχυνση, της οποίας το



Σχήμα 3: Το διάνυσμα της α_κ

μέτρο δίνεται από την σχέση:

$$\alpha_\kappa = \frac{\upsilon^2}{R} = \omega^2 \cdot R \tag{7}$$

Η κεντρομόλος επιτάχυνση είναι υπεύθυνη για την μεταβολή της διεύθυνσης της γραμμικής ταχύτητας. Η διεύθυνση της είναι πάντα κάθετη στην γραμμική ταχύτητα.

Ομαλή κυκλική κίνηση

Όταν το μέτρο της γραμμικής ταχύτητας παραμένει σταθερό, τότε η κίνηση του υλικού σημείου χαρακτηρίζεται ως ***Ομαλή Κυκλική Κίνηση***.

Στην κίνηση αυτή παραμένει επίσης σταθερό και το μέτρο της γωνιακής ταχύτητας, οπότε προκύπτει:

$$\upsilon = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s - 0}{t - 0} \Rightarrow s = \upsilon \cdot t \tag{8}$$

$$\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{\theta - 0}{t - 0} \Rightarrow \theta = \omega \cdot t \tag{9}$$

Στην ομαλή κυκλική κίνηση το υλικό σημείο σε ίσους χρόνους διανύει ίσα τόξα και ίσες γωνίες.

Σχέση γραμμικής ταχύτητας (γωνιακής ταχύτητας)- περιόδου

Σε χρονικό διάστημα μιας περιόδου ($\Delta t = T$) το σώμα που εκτελεί ομαλή κυκλική κίνηση έχει κάνει μια πλήρη περιστροφή, επομένως η έχει διαγράψει μήκος ίσο με την περιφέρεια του κύκλου ($\Delta s = 2\pi R$) και επίκεντρη γωνία ίση με $\Delta\theta = 2\pi$. Άρα για την Ομαλή κυκλική κίνηση η γραμμική και η γωνιακή ταχύτητα μπορούν να γραφτούν:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \qquad \upsilon = \frac{2\pi R}{T} \tag{10}$$

που αν λάβουμε υπόψη μας την σχέση περιόδου - συχνότητας προκύπτει ότι:

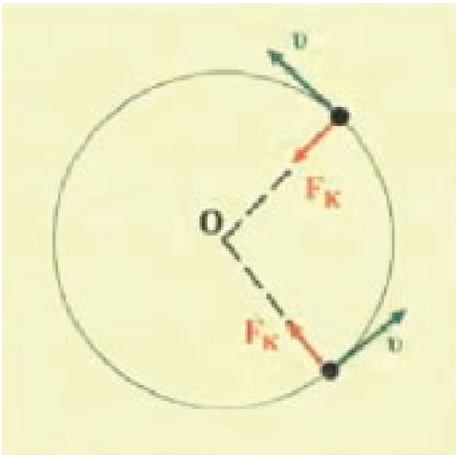
$$\omega = 2\pi f \qquad \upsilon = 2\pi R f \tag{11}$$

Η κεντρομόλος δύναμη

Σύμφωνα με τους Νόμους του Νεύτωνα η αιτία για το είδος μιας κίνησης είναι μια δύναμη. Η κεντρομόλος δύναμη είναι εκείνη που ¨ευθύνεται¨ για την κυκλική κίνηση, καθώς ¨αναγκάζει¨ το σώμα να στρίβει συνεχώς ακολουθώντας μια κυκλική τροχιά. Η κεντρομόλος δύναμη είναι συνεχώς κάθετη στην γραμμική ταχύτητα και έχει φορά προς το κέντρο της κυκλικής τροχιάς. Σύμφωνα με τον 2ο Νόμο του Νεύτωνα:

$$\Sigma F = m \cdot \alpha \Rightarrow \Sigma F = m \cdot \alpha_\kappa = \frac{m \cdot \upsilon^2}{R} \Rightarrow F_\kappa = \frac{m \cdot \upsilon^2}{R} \tag{12}$$

Η παραπάνω σχέση είναι η ϊκανή και αναγκαία συνθήκη¨ για να εκτελεί ένα σώμα Κυκλική Κίνηση. Άρα αν ένα σώμα εκτελεί Κυκλική Κίνηση, θα πρέπει η συνισταμένη των δυνάμεων που είναι κάθετες στην ταχύτητα του να έχουν μέτρο ίσο με την F_κ Για παράδειγμα αν υποθέσουμε



Σχήμα 4: Το διάνυσμα της F_κ

ότι η κίνηση της Γης γύρω από τον Ήλιο είναι μια κυκλική κίνηση η αιτία είναι η βαρυτική έλξη του ήλιου στην γη που λόγω της κατεύθυνσης της θα παίξει τον ρόλο της κεντρομόλου δύναμης. Αντίστοιχο παράδειγμα είναι η κίνηση του ηλεκτρονίου γύρω από τον πυρήνα του ατόμου σύμφωνα με την κλασσική ερμηνεία του ατόμου. Εκεί η ηλεκτρική δύναμη Coulomb θα παίξει τον ρόλο της κεντρομόλου δύναμης.

3. Μεταβαλλόμενη Κυκλική Κίνηση*

Θεωρούμε ένα υλικό σημείο, το οποίο κινείται σε κυκλική τροχιά ακτίνας R. Αν υποθέσουμε ότι σε χρονικό διάστημα dt μεταβάλλεται η γραμμική ταχυτητα κατά $d\vec{\upsilon}$ και η γωνιακή ταχύτητα κατά $d\vec{\omega}$ τότε η κίνηση του είναι μια μεταβαλλόμενη κίνηση.

Γραμμική (ή επιτρόχια) επιτάχυνση

Λόγω της μεταβολής του μέτρου της γραμμικής ταχύτητας, το υλικό σημείο έχει γραμμική επιτάχυνση.

Ονομάζουμε γραμμική επιτάχυνση $\vec{\alpha}_\epsilon$ του υλικού σημείου τη χρονική στιγμή t ένα διάνυσμα, του οποίου το μέτρο είναι ίσο με το μέτρο του ρυθμού μεταβολής της γραμμικής ταχύτητας.

$$\alpha_\epsilon = \frac{d\upsilon}{dt} \tag{13}$$

Η γραμμική επιτάχυνση εφάπτεται της κυκλικής τροχιάς και έχει τη φορά της κίνησης, όταν το μέτρο της γραμμικής ταχύτητας αυξάνεται και φορά αντίθετη από τη φορά της κίνησης, όταν το μέτρο της γραμμικής ταχύτητας ελαττώνεται. Η μονάδα μέτρησης της γραμμικής επιτάχυνσης είναι το $1m/s^2$.

Το διανυσματικό άθροισμα της γραμμικής επιτάχυνσης $\vec{\alpha}_\epsilon$ και της κεντρομόλου επιτάχυνσης $\vec{\alpha}_\kappa$ δίνει την συνισταμένη επιτάχυνση $\vec{\alpha} = \vec{\alpha}_\epsilon + \vec{\alpha}_\kappa$ του υλικού σημείου σε κάθε θέση της τροχιάς του. Το μέτρο της συνολικής επιτάχυνσης είναι ίσο με $\alpha = \sqrt{\alpha_\epsilon^2 + \alpha_\kappa^2}$

Γωνιακή Επιτάχυνση

Ονομάζουμε γωνιακή επιτάχυνση $\vec{\alpha_{\gamma\omega\nu}}$ του υλικού σημείου τη χρονική στιγμή t ένα διάνυσμα, του οποίου το μέτρο είναι ίσο με το μέτρο του ρυθμού μεταβολής της γωνιακής ταχύτητας.

$$\alpha_{\gamma\omega\nu} = \frac{d\omega}{dt} \tag{14}$$

Η γωνιακή επιτάχυνση έχει την κατεύθυνση του διανύσματος $d\vec{\omega}$. Μονάδα μέτρησης της γωνιακής επιτάχυνσης είναι το $1rad/s^2$.Γωνιακή επιτάχυνση $1rad/s^2$ σημαίνει ότι ο ρυθμός μεταβολής του μέτρου της γωνιακής ταχύτητας είναι $1rad/s$ σε κάθε $1s$.

Σχέση γραμμικής και γωνιακής επιτάχυνσης

Η σχέση $\upsilon = \omega \cdot R$ μπορεί να γραφτεί:

$$d\upsilon = R \cdot d\omega \Rightarrow \frac{d\upsilon}{dt} = R\frac{d\omega}{dt} \Rightarrow \alpha_{\epsilon} = \alpha_{\gamma\omega\nu} \cdot R$$

Ομαλά μεταβαλλόμενη κυκλική κίνηση

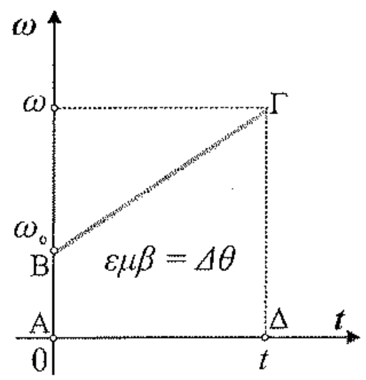
Όταν το μέτρο της επιτρόχιας επιτάχυνσης παραμένει σταθερό, τότε η κίνηση του υλικού σημείου χαρακτηρίζεται ως **Ομαλά μεταβαλλόμενη κυκλική κίνηση**.

Στην κίνηση αυτή παραμένει επίσης σταθερό και το μέτρο της γωνιακής επιτάχυνσης, άρα μπορούμε να γράψουμε:

$$\alpha_{\gamma\omega\nu} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega - \omega_0}{t - 0}$$

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει:

$$\omega = \omega_0 + \alpha_{\gamma\omega\nu} t \qquad (15)$$



Από το διάγραμμα γωνιακής ταχύτητας (ω) - χρόνου (t) μπορούμε να υπολογίσουμε:

- την γωνιακή επιτάχυνση που είναι ίση με την κλίση της ευθείας $\alpha_{\gamma\omega\nu} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$
- την γωνία θ που διαγράφει το υλικό σημειο από την χρονική στιγμή $t = 0$ μέχρι την στιγμή t με τον υπολογισμό του εμβαδού που περικλύεται κάτω από την ευθεία. Εύκολα αποδεικνύεται ότι ειναι:

$$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha_{\gamma\omega\nu} t^2 \qquad (16)$$

Στην περίπτωση της ομαλά επιβραδυνόμενης στροφικής κίνησης($\alpha_{\gamma\omega\nu} < 0$) οι παραπάνω σχέσεις γράφονται: $\omega = \omega_0 - |\alpha_{\gamma\omega\nu}|t$ και $\theta = \omega_0 t - \frac{1}{2}|\alpha_{\gamma\omega\nu}|t^2$.

Παρακάτω ακολουθεί ένας πίνακας αντιστοιχιών μεταξύ γραμμικών και στροφικών μεγεθών της κυκλικής κίνησης.

Γραμμικά μεγέθη	**Γωνιακά μεγέθη**
Μήκος τόξου s	γωνία στροφής θ
γραμμική ταχύτητα υ	γωνιακή ταχύτητα ω
γραμμική επιτάχυνση $\alpha_\epsilon = \frac{d\upsilon}{dt}$	γωνιακή επιτάχυνση $\alpha_{\gamma\omega\nu} = \frac{d\omega}{dt}$
Ομαλή Κυκλική Κίνηση	
$s = \upsilon t$	$\theta = \omega t$
Ομαλά Επιταχυνόμενη Κυκλική Κίνηση	
$\upsilon = \upsilon_0 + \alpha_\epsilon t$	$\omega = \omega_0 + \alpha_{\gamma\omega\nu} t$
$s = \upsilon_0 t + \frac{1}{2}\alpha_\epsilon t^2$	$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha_{\gamma\omega\nu} t^2$
Ομαλά Επιβραδυνόμενη Κυκλική Κίνηση	
$\upsilon = \upsilon_0 - |\alpha_\epsilon| t$	$\omega = \omega_0 - |\alpha_{\gamma\omega\nu}| t$
$s = \upsilon_0 t - \frac{1}{2}|\alpha_\epsilon| t^2$	$\theta = \omega_0 t - \frac{1}{2}|\alpha_{\gamma\omega\nu}| t^2$

Όταν ένα στερεό (δίσκος, ρόδα, σφαίρα κλπ) στρέφεται γύρω από ένα άξονα περιστροφής, τότε όλα τα σημεία του που κινούνται, θα εκτελούν κυκλικές κινήσεις με ίδια γωνιακά μεγέθη και διαφορετικά γραμμικά μεγέθη.

** Η Μεταβαλλόμενη Κυκλική Κίνηση είναι εκτός της προβλεπόμενη ύλης για την Β Λυκείου.*

4. Ασκήσεις - Προβλήματα προς λύση

Με βάση τα παραπάνω προσπαθήστε να λύσετε τις ακόλουθες ασκήσεις και προβλήματα.

4.1. Στην ομαλή κυκλική κίνηση η γραμμική ταχύτητα:

(α) είναι μέγεθος σταθερό.

(β) έχει μέτρο που εκφράζει τον ρυθμό με τον οποίο η επιβατική ακτίνα διαγράφει γωνίες.

(γ) έχει διάνυσμα εφαπτόμενο κάθε στιγμή στην κυκλική τροχιά.

(δ) έχει φορά προς το κέντρο της κυκλικής τροχιάς.

4.2. Η συνισταμένη των δυνάμεων που δέχεται ένα σώμα το οποίο εκτελεί ομαλή κυκλική κίνηση

(α) έχει ίδια κατεύθυνση με την ταχύτητα του σώματος.

(β) έχει κατεύθυνση πάντα προς το κέντρο της κυκλικής τροχιάς.

(γ) είναι συνεχώς εφαπτόμενη στην τροχιά

(δ) είναι σταθερή

4.3. Ποιες από τις παρακάτω προτάσεις, που αναφέρονται στην ομαλή κυκλική κίνηση, είναι σωστές;

(α) Το μέτρο της γραμμικής ταχύτητας είναι σταθερό.

(β) Το διάνυσμα της γραμμικής ταχύτητας είναι σταθερό.

(γ) Το μέτρο της κεντρομόλου επιτάχυνσης είναι σταθερό.

(δ) Η κεντρομόλος επιτάχυνση είναι κάθε χρονική στιγμή κάθετη στη γραμμική ταχύτητα.

(ε) Για να πραγματοποιήσει ένα σώμα κυκλική κίνηση δεν απαιτείται δύναμη.

(στ) Η κεντρομόλος δύναμη δεν είναι μια ακόμα δύναμη που ασκείται στο σώμα, αλλά η συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται στο σώμα στην διεύθυνση της ακτίνας της κυκλικής κίνησης.

4.4. Ένα σώμα κάνει ομαλή κυκλική κίνηση, Ποια από τα επόμενα μεγέθη παραμένουν σταθερά;

(α) Η γραμμική ταχύτητα

(β) Η περίοδος

(γ) Η συχνότητα

(δ) Η κεντρομόλος δύναμη

4.5. Στην ομαλή κυκλική κίνηση:

(α) η κεντρομόλος επιτάχυνση είναι κάθε στιγμή κάθετη στη γραμμική ταχύτητα,

(β) η φορά της κεντρομόλου επιτάχυνσης εξαρτάται από την φορά της κίνησης του κινητού,

(γ) όταν διπλασιάζεται η γωνιακή ταχύτητα διπλασιάζεται και η κεντρομόλος επιτάχυνση.

(δ) Η επιτάχυνση του κινητού είναι εφαπτόμενη στην τροχιά.

(ε) Η συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται στο σώμα είναι ίση με μηδέν

4.6. Η κεντρομόλος επιτάχυνση ενός σώματος που εκτελεί ομαλή κυκλική κίνηση:

(α) είναι σταθερή

(β) έχει μέτρο το οποίο υπολογίζεται από τη σχέση $\alpha_\kappa = \omega r$, όπου ω η γωνιακή ταχύτητα και r η ακτίνα της κίνησης

(γ) έχει ίδια διεύθυνση και φορά με την γραμμική ταχύτητα

(δ) έχει κατεύθυνση προς το κέντρο της της κυκλικής τροχιάς και σταθερό μέτρο

4.7. Για ένα σώμα που εκτελεί ομαλή κυκλική κίνηση ποιοι από τους παρακάτω τύπους δίνουν το μέτρο της κεντρομόλου δύναμης;

(α) $F_\kappa = m \cdot \dfrac{4\pi^2}{f} \cdot R$

(β) $F_\kappa = m \cdot 4\pi^2 f^2 \cdot R$

(γ) $F_\kappa = m \cdot \dfrac{4\pi^2}{T^2} \cdot R$

(δ) $F_\kappa = m \cdot \dfrac{\upsilon^2}{R}$

4.8. Δύο σώματα Α και Β με ίσες μάζες εκτελούν ομαλή κυκλική κίνηση σε ομόκεντρους κύκλους με ακτίνες R και 16R, αντίστοιχα. Αν τα μέτρα των κεντρομόλων δυνάμεων που ασκούνται στα δύο σώματα είναι ίσα, τότε ο λόγος των περιόδων $\dfrac{T_A}{T_B}$ είναι:

(α) 2 **(β)** 0,25 **(γ)** 4 **(γ)** τίποτα από τα παραπάνω

4.9. Ένα σώμα μάζας m είναι δεμένο στο άκρο νήματος μήκους l και εκτελεί κατακόρυφο κύκλο. Η επιτάχυνση της βαρύτητας είναι ίση με g. Για να μπορέσει το σώμα να εκτελέσει ασφαλή ανακύκλωση θα πρέπει το μέτρο της ταχύτητας του στο ανώτερο σημείο να είναι τουλάχιστον ίσο με:

(α) $\sqrt{2gl}$ **(β)** $2\sqrt{gl}$ **(γ)** $\sqrt{gl}$ **(γ)** 0

4.10. Ένα σώμα διαγράφει κατακόρυφο κύκλο με σταθερή ταχύτητα σύμφωνα με τη φορά των δεικτών του ρολογιού. Αφού κάνετε σχήμα και σχεδιάσετε τα διανύσματα της γραμμικής ταχύτητας,της γωνιακής,της κεντρομόλου επιτάχυνσης ,της τάσης του νήματος και της κεντρομόλου δύναμης να απαντήσετε στα παρακάτω ερωτήματα:

(α) Σε ποιο σημείο της τροχιάς η τάση του νήματος είναι μεγαλύτερη από την κεντρομόλο δύναμη ;

(β) Αν διπλασιάσουμε την συχνότητα περιστροφής πως μεταβάλλεται η κεντρομόλος επιτάχυνση ;

(γ) Αν υποδιπλασιαστεί η ακτίνα της κίνησης πως μεταβάλλεται η κεντρομόλος δύναμη και η γωνιακή ταχύτητα ;

Να αιτιολογήσετε αναλυτικά την κάθε απάντησή σας.

4.11. Σύμφωνα με το ¨ατομικό πρότυπο Bohr ¨ το άτομο του Υδρογόνου (Η) αποτελείται από τον πυρήνα και ένα ηλεκτρόνιο που εκτελεί ομαλή κυκλική κίνηση σε απόσταση R_o από τον πυρήνα. Σας είναι γνωστό ότι ο πυρήνας έχει φορτίο $q_1 = e$, το ηλεκτρόνιο έχει φορτίο $q_2 = -e$ με e το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο.

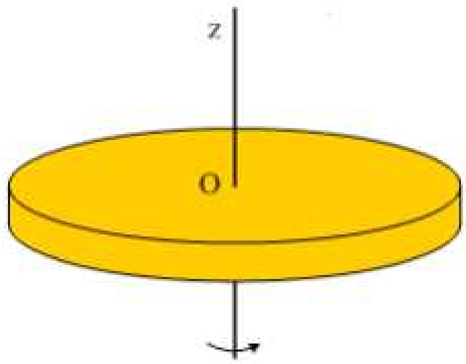
Α. Να σχεδιαστούν αναλυτικά η γωνιακή και η γραμμική ταχύτητα του ηλεκτρονίου και οι δυνάμεις που ασκούνται ανάμεσα στα δύο φορτία.

Β. Αν η μάζα του ηλεκτρονίου θεωρηθεί γνωστή και ίση με m_e και η σταθερά του Coulomb ίση με k_c, τότε το μέτρο της γραμμικής ταχύτητας του ηλεκτρονίου θα ισούται με:

(α) $\sqrt{\dfrac{k_c e^2}{R_o m_e}}$ **(β)** $\sqrt{\dfrac{k_c e^2 R_o}{m_e}}$ **(γ)** $\sqrt{\dfrac{k_c e^2 m_e}{R_o}}$

Να επιλέξετε το γράμμα που αντιστοιχεί στη σωστή απάντηση. Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

4.12. Στο διπλανό σχήμα φαίνεται οριζόντιος δίσκος ακτίνας R, ο οποίος περιστρέφεται γύρω από κατακόρυφο άξονα που διέρχεται από το κέντρο του K και όλα του τα σημεία (εκτός από το K που παραμένει ακίνητο) εκτελούν ομαλή κυκλική κίνηση.



(α) Να εξηγήσετε γιατί όλα τα σημεία του δίσκου που κινούνται εκτελούν κυκλικές κινήσεις με ίσες γωνιακές ταχύτητες.

(β) Δύο σημεία A και B του δίσκου απέχουν από το κέντρο K αποστάσεις R/2 και R από αντίστοιχα. Για τα μέτρα των γραμμικών ταχυτήτων υ_A και υ_B των σημείων A και B ισχύει:

(i) $\frac{\upsilon_A}{\upsilon_B} = 2$

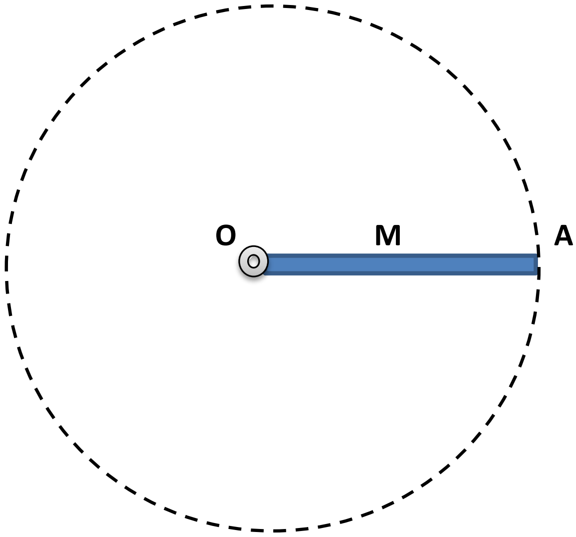
(ii) $\frac{\upsilon_A}{\upsilon_B} = \frac{1}{2}$

(iii) $\frac{\upsilon_A}{\upsilon_B} = 1$

Να επιλέξετε τη σωστή απάντηση και να δικαιολογήσετε την επιλογή σας.

4.13. Μια ράβδος (ΟΑ) μήκους L περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω γύρω από κατακόρυφο άξονα που διέρχεται από το άκρο της Ο, όπως φαίνεται στο σχήμα.

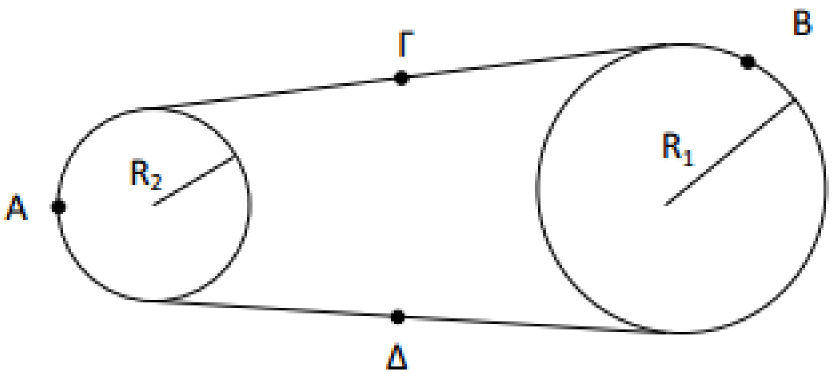
Αν Μ το μέσο της ράβδου, τότε ο λόγος των μέτρων των κεντρομόλων επιταχύνσεων των σημείων Α και Μ ($\frac{\alpha_A}{\alpha_M}$), θα είναι:



(α) $\frac{1}{2}$ **(β)** 1 **(γ)** 2

Να επιλέξετε το γράμμα που αντιστοιχεί στη σωστή απάντηση.Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

4.14. Δύο τροχοί Α και Β με ακτίνες R_2 και R_1 αντίστοιχα συνδέονται με ιμάντα, όπως φαίνεται στο σχήμα.

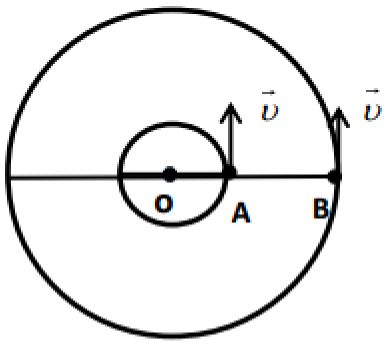


Οι συχνότητες περιστροφής του συνδέονται με τη σχέση:

(α) $\frac{f_A}{f_B} = \frac{R_1}{R_2}$ **(β)** $\frac{f_A}{f_B} = \frac{R_2}{R_1}$ **(γ)** $\frac{f_A}{f_B} = 1$

Να επιλέξετε το γράμμα που αντιστοιχεί στη σωστή απάντηση.Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

4.15. Τα σώματα Α και Β του σχήματος έχουν μάζες m_A και m_B αντίστοιχα. Τα Α και Β κινούνται ομαλά σε κυκλικές τροχιές με ακτίνες R_A και R_B με $R_B = 3R_A$ με το ίδιο κέντρο Ο και με ταχύτητες ίσων μέτρων $\upsilon_A = \upsilon_B = \upsilon$.



Το μέτρο της συνισταμένης των δυνάμεων που ασκούνται στο Α είναι ΣF_A ενώ το μέτρο των δυνάμεων που ασκούνται στο Β είναι ΣF_B.

Αν $\Sigma F_A = 3\Sigma F_B$, ο λόγος των μαζών των δύο σωμάτων θα ισούται με:

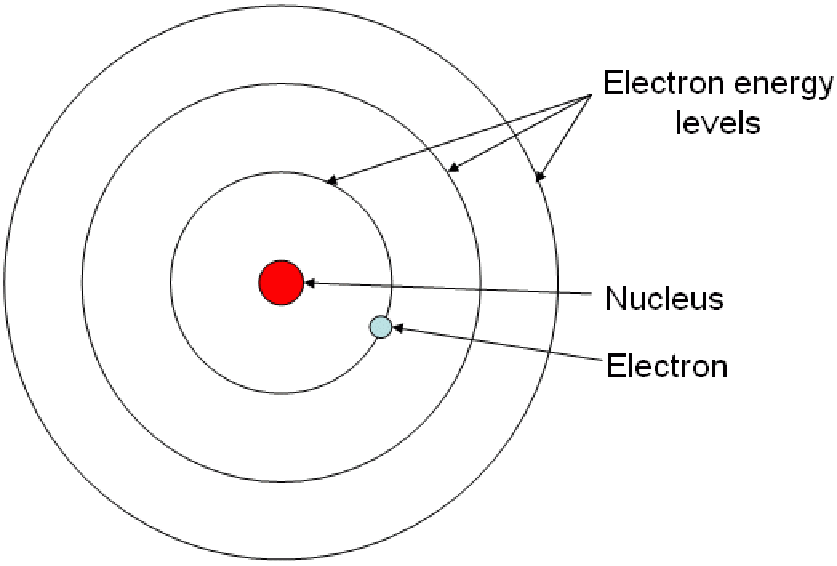
(α) $\dfrac{m_B}{m_A} = \dfrac{1}{3}$ **(β)** $\dfrac{m_B}{m_A} = 1$ **(γ)** $\dfrac{m_B}{m_A} = 3$

Να επιλέξετε το γράμμα που αντιστοιχεί στη σωστή απάντηση. Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας

4.16. Σύμφωνα με το **ατομικό πρότυπο του Bohr** στο κέντρο του ατόμου βρίσκεται ο πυρήνας και τα ηλεκτρόνια περιστρέφονται σε καθορισμένες τροχιές ακτίνας r, εξαιτίας της ηλεκτρικής έλξης από τον πυρήνα. Σας δίνεται ότι η μικρότερη επιτρεπόμενη απόσταση του ηλεκτρονίου από τον πυρήνα είναι r_o (θεμελιώδης στάθμη).

Το ηλεκτρόνιο μπορεί με κατάλληλες διεργασίες να βρεθεί σε μεγαλύτερες αποστάσεις από τον πυρήνα, υπό την προϋπόθεση ότι αυτές είναι καθορισμένες (διεγερμένες στάθμες).

Αν γνωρίζεται ότι η ακτίνα της τροχιάς του ηλεκτρονίου στην 1η διεγερμένη στάθμη είναι $r = 4r_o$, τότε ο λόγος της συχνότητας περιφοράς του ηλεκτρονίου στην Θεμελιώδη στάθμη (f_o) προς την συχνότητα του ηλεκτρονίου στην 1η διεγερμένη στάθμη (f_1) θα είναι:



(α) $\dfrac{f_o}{f_1} = 8$ **(β)** $\dfrac{f_o}{f_1} = 4$ **(γ)** $\dfrac{f_o}{f_1} = 2$

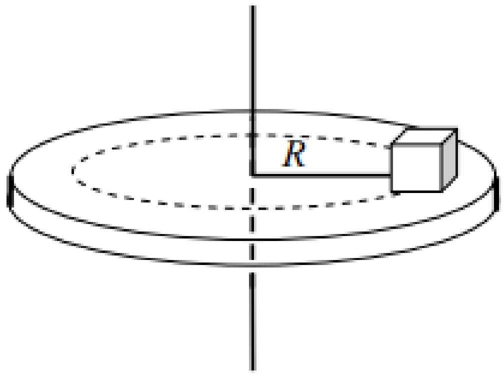
Να επιλέξετε το γράμμα που αντιστοιχεί στη σωστή απάντηση. Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας

4.17. Σώμα εκτελεί ομαλή κυκλική κίνηση σε λείο οριζόντιο επίπεδο δεμένο σε ένα σχοινί. Το σχοινί σπάει όταν η δύναμη που θα του ασκηθεί είναι μεγαλύτερη ή ίση με το όριο θραύσης (T_{max}).Όταν το σώμα κινείται σε κύκλο ακτίνας R το σχοινί σπάει όταν η γωνιακή ταχύτητα είναι ω_1. Όταν το σώμα κινείται σε κύκλο ακτίνας $\dfrac{R}{2}$ το σχοινί σπάει όταν η γωνιακή ταχύτητα είναι ω_2. Ο λόγος των δύο ταχυτήτων είναι:

(α) $\dfrac{\omega_1}{\omega_2} = 2$ **(β)** $\dfrac{\omega_1}{\omega_2} = \dfrac{\sqrt{2}}{2}$ **(γ)** $\dfrac{\omega_1}{\omega_2} = \dfrac{1}{2}$

Να επιλέξετε το γράμμα που αντιστοιχεί στη σωστή απάντηση. Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας

4.18. Πάνω σε ένα παλιό πικάπ βρίσκεται ένας δίσκος βινυλίου και πάνω στο δίσκο βινυλίου ένα ζάρι. Μπορούμε να μεταβάλλουμε την συχνότητα περιστροφής του πικάπ. Όταν το ζάρι βρίσκεται σε απόσταση R_1 και ο δίσκος περιστρέφεται με συχνότητα f_1η κεντρομόλος δύναμη που ασκείται στο ζάρι έχει μέτρο F_1. Όταν το ζάρι βρεθεί σε απόσταση R_2 και ο δίσκος περιστρέφεται με συχνότητα f_2 η κεντρομόλος δύναμη έχει μέτρο F_2. Για τον λόγο των κεντρομόλων δυνάμεων ισχύει:



(α) $\dfrac{F_1}{F_2} = \dfrac{f_1^2 R_1}{f_2^2 R_2}$ **(β)** $\dfrac{F_1}{F_2} = \dfrac{f_1^2 R_2}{f_2^2 R_1}$ **(γ)** $\dfrac{F_1}{F_2} = \dfrac{f_1 R_1}{f_2 R_2}$

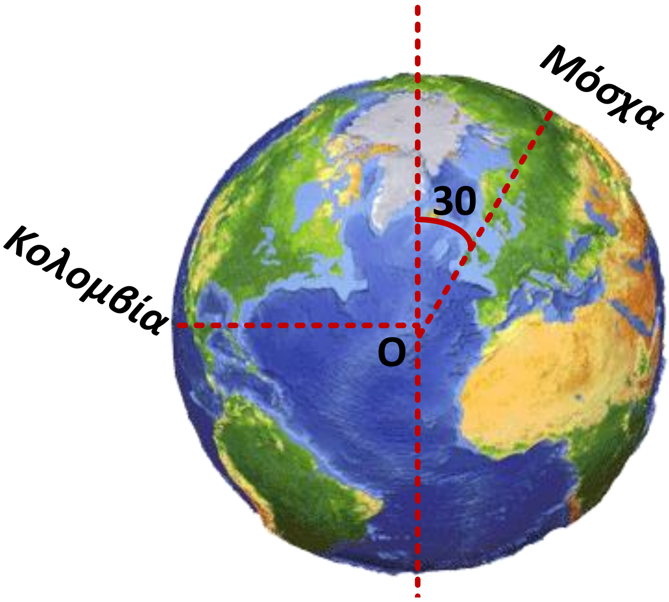
Να επιλέξετε το γράμμα που αντιστοιχεί στη σωστή απάντηση. Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας

4.19. Δύο ομόκεντροι τροχοί, που ο λόγος των ακτίνων τους είναι $4/3$ περιστρέφονται ομαλά γύρω από άξονα που διέρχεται από το κοινό τους κέντρο με την ίδια συχνότητα. Αν τα σημεία της περιφέρειας του μικρού τροχού έχουν ταχύτητα μέτρου $10m/s$, τότε τα σημεία της περιφέρειας του μεγάλου τροχού έχουν γραμμική ταχύτητα μέτρου:

(α) $\dfrac{30}{4}m/s$ **(β)** $\dfrac{40}{3}m/s$ **(γ)** $10m/s$

Να επιλέξετε το γράμμα που αντιστοιχεί στη σωστή απάντηση. Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας

4.20. Θεωρούμε ότι η Γη είναι μια τέλεια σφαίρα ακτίνας R η οποία περιστρέφεται γύρω από άξονα που διέρχεται από το κέντρο της Ο, όπως φαίνεται στο σχήμα.



Η περίοδος περιστροφής ενός Μοσχοβίτη είναι T_M και η γραμμική ταχύτητα του υ_M και η περίοδος περιστροφής του Κολομβιανού είναι T_K και η γραμμική του ταχύτητα υ_K.

Για τις περιόδους περιστροφής ισχύει:

(α) $T_M = 2T_K$ **(β)** $T_M = T_K$ **(γ)**$T_K = 2T_M$

Για τις ταχύτητες περιστροφής ισχύει:

(α) $\upsilon_M = 2\upsilon_K$ **(β)** $\upsilon_K = \upsilon_M$ **(γ)**$\upsilon_K = 2\upsilon_M$

Να επιλέξετε το γράμμα που αντιστοιχεί στη σωστή απάντηση. Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

4.21. Ένας δρομέας διανύει την περιφέρεια ενός κυκλικού στίβου, που το μήκος της είναι 200 m, σε χρόνο $40s$. Να βρείτε:

(α) την περίοδο και την συχνότητα της κυκλικής κίνησης του δρομέα,

(β) τη γραμμική και τη γωνιακή του ταχύτητα.

4.22. Μικρό σώμα εκτελεί ομαλή κυκλική κίνηση με γραμμική ταχύτητα $v = 10\pi m/s$ και με περίοδο $T = 10s$. Να βρείτε:

(α) τη συχνότητα περιφοράς,

(β) την ακτίνα περιφοράς,

(γ) τη γωνιακή ταχύτητα,

(δ) την κεντρομόλο επιτάχυνση.

4.23. Στο άτομο του υδρογόνου σύμφωνα με την θεωρία του Bohr, το ηλεκτρόνιο κάνει ομαλή κυκλική κίνηση γύρω από τον πυρήνα με ακτίνα περιφοράς $R = 10^{-10}m$ και με περίοδο $T = 10^{-16}s$. Να βρείτε:

(α) τη συχνότητα περιφοράς του ηλεκτρονίου,

(β) τη γωνιακή και την γραμμική ταχύτητα του ηλεκτρονίου,

(γ) τη κεντρομόλο επιτάχυνση του.

4.24. Ποδήλατο, του οποίου οι ρόδες έχουν ακτίνα $R = 0,5m$, κινείται με σταθερή ταχύτητα $v = 20m/s$ σε ευθύγραμμο δρόμο.

(α) Να αποδείξετε ότι το μέτρο της γραμμικής ταχύτητας των σημείων της περιφέρειας κάθε ρόδας των ποδηλάτων είναι ίσο με το μέτρο της ταχύτητας του ποδηλάτου.

(β) Να βρείτε την περίοδο και τη συχνότητα περιστροφής της κάθε ρόδας.

(γ) Πόση είναι η κεντρομόλος επιτάχυνση ενός σημείου της ρόδας που βρίσκεται στο μέσο της ακτίνας της.

4.25. Ένα αυτοκίνητο κινείται ευθύγραμμα και ομαλά σε λασπωμένο δρόμο, χωρίς να γλιστράνε οι τροχοί του. Κάθε τροχός σε χρόνο $t = 5s$ αφήνει ίχνη μήκους $s = 200m$. Αν η ακτίνα του κάθε τροχού είναι $R = 0,5m$, να βρείτε:

(α) την ταχύτητα του αυτοκινήτου,

(β) την περίοδο περιστροφής των τροχών,

(γ) πόσο είναι το μήκος του ίχνους που αφήνει ένας τροχός σε χρόνο μιας περιόδου.

4.26. Η Γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονα της και σε $24h$ εκτελεί μια πλήρη περιστροφή. Αν στον Ισημερινό η ακτίνα της Γης είναι$R = 6400km$ να βρείτε για ένα σημείο του Ισημερινού:

(α) την περίοδο και την συχνότητα,

(β) τη γωνιακή ταχύτητα

(γ) τη γραμμική ταχύτητα

4.27. Σώμα μάζας $m = 4kg$ εκτελεί ομαλή κυκλική κίνηση σε τροχιά ακτίνας $r = 1m$. Αν η κεντρομόλος δύναμη έχει μέτρο $F_\kappa = 100N$, να βρείτε για το σώμα:

(α) την κεντρομόλο επιτάχυνση του,

(β) τη γραμμική του ταχύτητα,

(γ) τη συχνότητα του,

(δ) την περίοδο του.

4.28. Σώμα μάζας $m = 1kg$ κινείται με γραμμική ταχύτητα σταθερού μέτρου $\upsilon = 10m/s$, δεμένο στο άκρο σχοινιού μήκους $r = 1m$. Το άλλο άκρο του σχοινιού το κρατάμε με το χέρι μας. Αν το σχοινί είναι συνέχεια οριζόντιο, να βρείτε:

(α) τη γωνιακή ταχύτητα του σώματος,

(β) την κεντρομόλο δύναμη στο σώμα,

(γ) την τάση του σχοινιού,

(δ) τη δύναμη που δέχεται το χέρι μας από το σχοινί,

(στ) Αν το όριο θραύσης του σχοινιού είναι $T = 400N$, ποια πρέπει να είναι η μέγιστη συχνότητα περιστροφής για να μην κοπεί το σχοινί;

4.29. Όχημα κινείται σε οριζόντιο κυκλικό δρόμο ακτίνας $R = 25m$.

(α) Ποια δύναμη παίζει τον ρόλο της κεντρομόλου δύναμης·

(β) Αν ο συντελεστής στατικής τριβής μεταξύ των ελαστικών και του οδοστρώματος είναι $\mu_{\sigma\tau} = 0,4$ να βρείτε τη μέγιστη ταχύτητα με την οποία μπορεί να κινηθεί το όχημα με ασφάλεια.

(γ) Η μέγιστη ταχύτητα εξαρτάται από την μάζα του οχήματος;

Δίνεται: $g = 10m/s^2$

4.30. Σώμα μικρών διαστάσεων είναι δεμένο στη μια άκρη σχοινιού μήκους $l = 80cm$ και διαγράφει κατακόρυφο κύκλο γύρω από την μια την άλλη άκρη του σχοινιού, που διατηρείται ακίνητη. Ποια είναι η μικρότερη δυνατή ταχύτητα που μπορεί να έχει το σώμα όταν βρίσκεται στην ανώτερη θέση, ώστε να εξακολουθεί να κινείται κυκλικά·

Δίνεται: $g = 10m/s^2$

4.31. Ένας οριζόντιος δίσκος ακτίνας $R = 0,5m$ περιστρέφεται δεξιόστροφα γύρω από άξονα που διέρχεται από το κέντρο και είναι κάθετος στο επίπεδό του. Ο δίσκος εκτελεί 30 περιστροφές το λεπτό.

(α) Να υπολογίσετε τη περίοδο και τη συχνότητα περιστροφής του δίσκου.

(β) Να υπολογίσετε τη γωνιακή ταχύτητα του δίσκου και να φτιάξετε ένα σχήμα που θα σχεδιάσετε το διάνυσμα της.

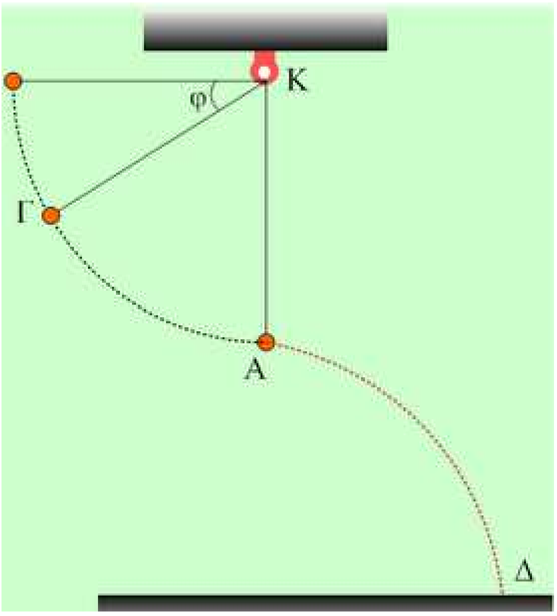
(γ) Να υπολογίσετε τη γραμμική ταχύτητα ενός σημείου της περιφέρειας του δίσκου και να φτιάξετε ένα σχήμα που θα σχεδιάσετε το διάνυσμα της.

(δ) Να υπολογίσετε το μέτρο της κεντρομόλου επιτάχυνσης για ένα σημείο της περιφέρειας του δίσκου και να φτιάξετε ένα σχήμα που θα σχεδιάσετε το διάνυσμα της.

(ε) Ένα μικρό κομμάτι πλαστελίνης μάζας m = 0,1 kg είναι κολλημένο σε σημείο του δίσκου που απέχει απόσταση d = 0,25 m από τον άξονα περιστροφής. Η μέγιστη κεντρομόλος δύναμη που μπορεί να δεχτεί το κομμάτι πλαστελίνης από το δίσκο ισούται με $F_{\kappa(max)} = 1,6N$. Να υπολογίσετε την μέγιστη συχνότητα περιστροφής του δίσκου, ώστε το κομμάτι πλαστελίνης να παραμένει κολλημένο στο δίσκο.

Να θεωρήσετε για τις πράξεις ότι $\pi^2 = 10$

4.32. Ένα μικρό σώμα μάζας m = 2 kg είναι δεμένο στο ένα άκρο αβαρούς και μη εκτατού νήματος μήκους l=1 m, το άλλο άκρο του οποίο είναι στερεωμένο στην οροφή και διαγράφει κατακόρυφο κύκλο. Τη χρονική στιγμή που το σώμα διέρχεται από το κατώτερο σημείο Α της τροχιάς του έχοντας οριζόντια ταχύτητα μέτρου $\upsilon = 10m/s$ το νήμα κόβεται. Η απόσταση του σημείου Α από το έδαφος είναι h = 5 m. Μετά το κόψιμο του νήματος το σώμα κινείται μόνο με την επίδραση του βάρους του, μέχρι να πέσει στο έδαφος. Να υπολογίσετε:



(α) το χρόνο κίνησης του σώματος από την στιγμή που κόπηκε το νήμα μέχρι να πέσει στο έδαφος.

(β) την οριζόντια μετατόπιση του σώματος στο παραπάνω χρονικό διάστημα.

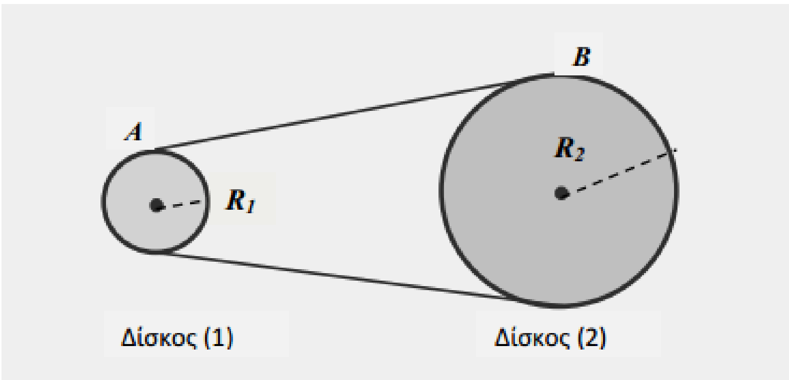
(γ) την ταχύτητα του σώματος την στιγμή που χτυπά στο έδαφος.

(δ) το μέτρο της τάσης του νήματος λίγο πριν κοπεί το νήμα.

Δίνεται η επιτάχυνση της βαρύτητας $g = 10m/s^2$

Οι παρακάτω ασκήσεις αναδημοσιεύονται από την τράπεζα Θεμάτων του ΙΕΠ

4.33. Στο σχήμα φαίνονται δύο δίσκοι με ακτίνες $R_1 = 0,2m$ και $R_2 = 0,4m$ αντίστοιχα, οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους με μη ελαστικό λουρί.



Οι δίσκοι περιστρέφονται γύρω από σταθερούς άξονες που διέρχονται από το κέντρο τους και είναι κάθετοι στο επίπεδο τους. Αν η περίοδος περιστροφής του δίσκου (2) είναι σταθερή και ίση με $T_2 = 0,05\pi s$, να υπολογίσετε:

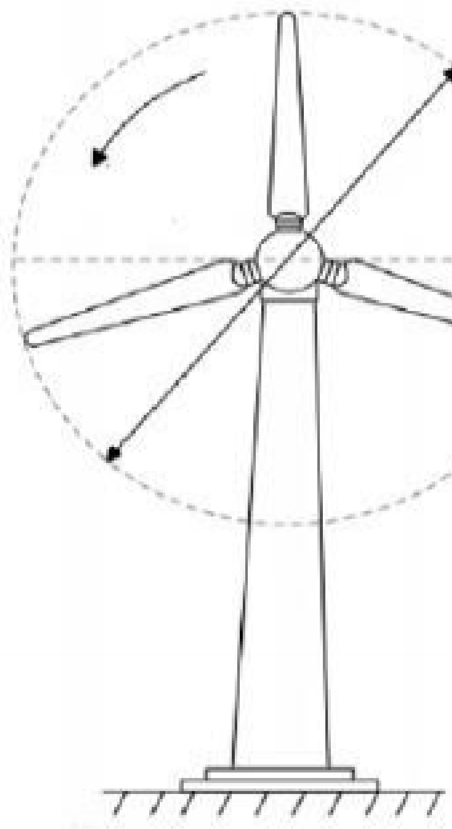
(α) το μέτρο της ταχύτητας των σημείων Α και Β της περιφέρειας των δίσκων.

(β) το μέτρο της γωνιακής ταχύτητας του δίσκου (1)

(γ) το λόγο των μέτρων των κεντρομόλων επιταχύνσεων των σημείων Α και Β: $\dfrac{\alpha_{1,A}}{\alpha_{2,B}}$

(δ) τον αριθμό των περιστροφών που έχει εκτελέσει ο δίσκος (1), όταν ο δίσκος (2) έχει εκτελέσει 10 περιστροφές.

4.34. Ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα περιστροφής έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: Ύψος πύργου $H = 18m$ (απόσταση από το κέντρο της κυκλικής τροχιάς μέχρι το έδαφος), ακτίνα έλικας $R = 2m$, ενώ εκτελεί 60 περιστροφές ανά λεπτό.



(α) Να υπολογίσετε την γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της έλικας.

Στην άκρη της έλικας έχει κολλήσει ένα σημειακό κομμάτι λάσπης.

(β) Να υπολογίσετε τη γραμμική ταχύτητα και την κεντρομόλο επιτάχυνση του κομματιού της λάσπης.

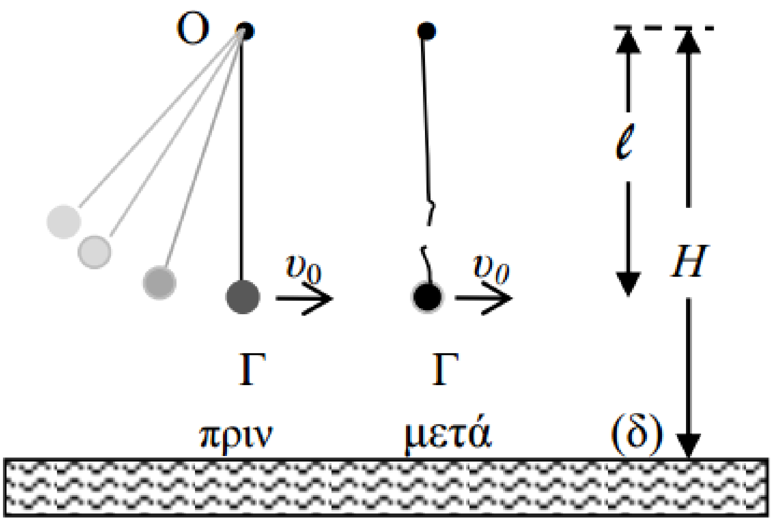
Τη στιγμή που η λάσπη περνάει από το ανώτερο σημείο της τροχιάς της ξεκολλάει και εγκαταλείπει την έλικα.

(γ) τι είδους κίνηση θα εκτελέσει;

(δ) Μετά από πόσο χρόνο θα φτάσει στο έδαφος και με τι ταχύτητα ;

Δίνεται η επιτάχυνση της βαρύτητας $g = 10m/s^2$. Να θεωρήσετε αμελητέα την αντίσταση του αέρα και $\pi^2 = 10$.

4.35. Μικρή σφαίρα μάζας $200g$ κρέμεται δεμένη στο κάτω άκρο μη ελαστικού νήματος, μήκους l. Το πάνω άκρο το νήματος είναι δεμένο σε ακλόνητο σημείο Ο, το οποίο απέχει από οριζόντιο δάπεδο (δ), ύψος $H = 1,25m$. Θέτουμε το σύστημα σε αιώρηση με τέτοιο τρόπο ώστε τελικά το σώμα να κινείται σε κατακόρυφο επίπεδο με το νήμα τεντωμένο.



Τη στιγμή που η σφαίρα περνάει από την κατώτερη θέση Γ της κυκλικής τροχιάς της, με το νήμα τεντωμένο και κατακόρυφο, η κεντρομόλος επιτάχυνσή της έχει μέτρο $20m/s$. Ακριβώς αυτή τη στιγμή το νήμα κόβεται και η σφαίρα με την ταχύτητα που είχε στη θέση Γ, πραγματοποιεί μια οριζόντια βολή μέχρι το οριζόντιο δάπεδο, όπου φτάνει μετά από χρόνο $0,3s$ από τη στιγμή που κόπηκε το νήμα. Να υπολογίσετε:

(α) Το μήκος του νήματος.

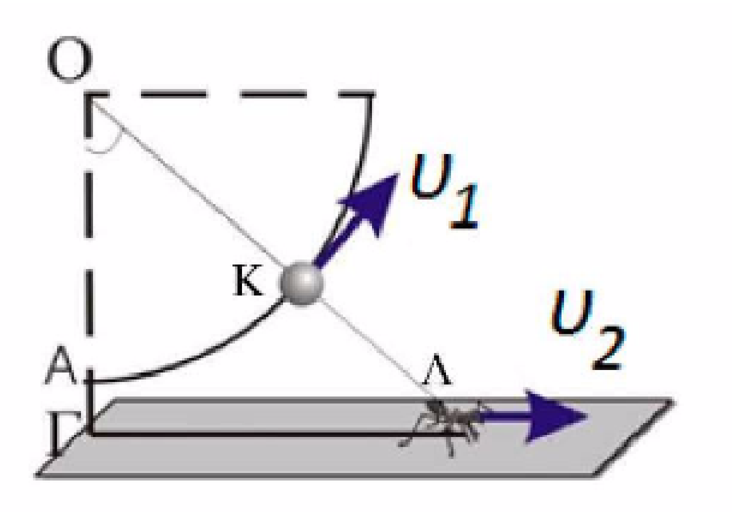
(β) Την οριζόντια απόσταση από το σημείο Γ, του σημείου στο οποίο θα χτυπήσει η σφαίρα στο δάπεδο.

(γ) Τη βαρυτική δυναμική ενέργεια της σφαίρας ως προς το οριζόντιο δάπεδο (δ) μετά από χρόνο $0,2s$ από τη στιγμή που κόπηκε το νήμα.

(δ) Το μέτρο της ταχύτητας υ καθώς και την εφαπτομένη της γωνίας που σχηματίζει το διάνυσμα της ταχύτητας με το οριζόντιο δάπεδο, τη στιγμή κατά την οποία η σφαίρα χτυπάει σε αυτό.

Η αντίσταση του αέρα θεωρείται αμελητέα και το μέτρο της επιτάχυνσης της βαρύτητας είναι $g = 10m/s^2$

4.36. Η σφαίρα του σχήματος ξεκίνησε την ομαλή κυκλική κίνησή της σε κύκλο ακτίνας ΟΑ = $2m$ από τη θέση Α με σταθερού μέτρου γραμμική ταχύτητα υ_1. Το έντομο ξεκίνησε την ευθύγραμμη ομαλή κίνησή του από το σημείο Γ, που βρίσκεται στην ίδια κατακόρυφη με την ακτίνα ΟΑ και σε απόσταση ΑΓ = $0,5m$ κάτω από το Α, με ταχύτητα, μέτρου $\upsilon_2 = 0,1m/s$. Η έναρξη των κινήσεων ήταν ταυτόχρονη. Το στιγμιότυπο της κίνησης που φαίνεται στο σχήμα αντιστοιχεί σε χρόνο $25s$ μετά την έναρξη των κινήσεων. Στο στιγμιότυπο οι θέσεις των κινητών και το κέντρο του κύκλου είναι στην ίδια ευθεία την ΟΚΛ.



(α) Πόση είναι απόσταση ΓΛ που διένυσε το έντομο μέχρι τη θέση που φαίνεται στο στιγμιότυπο του σχήματος;

(β) Ποια είναι η επίκεντρη γωνία ΓΟΛ που διέγραψε η σφαίρα ;

(γ) Πόση είναι η περίοδος, η γωνιακή ταχύτητα και η γραμμική ταχύτητα της σφαίρας ;

(δ) Πόση είναι η κεντρομόλος επιτάχυνση της σφαίρας;

Να θεωρήσετε ότι $\pi^2 = 10$

περί ΦΥΣΙΚΗΣ
Ορμώμενος