ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

Φυσική
Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών Σπουδών

Β΄ ΓΕΝΙΚΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΔΟΣΕΩΝ
«ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»

Φυσική

Ομάδας Προσανατολισμού
Θετικών Σπουδών

Β΄ τάξη
Γενικού Λυκείου

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΚΔΟΣΗΣ

Τα κεφάλαια 1 και 2 προέρχονται από το βιβλίο «Φυσική Γενικής Παιδείας Β΄ Τάξης Γενικού Λυκείου» ΙΤΥΕ «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ» 2013

ΟΜΑΔΑ ΣΥΓΓΡΑΦΗΣ

Ιωάννης Α. Βλάχος, *Διδάκτορας, Σχολικός Σύμβουλος του κλάδου ΠΕ4.*
Ιωάννης Γ. Γραμματικάκης, *Επίκουρος Καθηγητής Φυσικής στο Πανεπιστήμιο Αθηνών.*
Βασίλης Α. Καραπαναγιώτης, *Φυσικός, Καθηγητής Πειραματικού Σχολείου Πανεπιστημίου Αθηνών.*
Περικλής Εμ. Περιστερόπουλος, *Φυσικός, Υποψήφιος Διδάκτορας, Καθηγητής στο 3ο Λύκειο Βύρωνα.*
Γιώργος Β. Τιμοθέου, *Φυσικός, Λυκειάρχης στο 2ο Λύκειο Αγ. Παρασκευής.*

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΤΗΣ ΣΥΓΓΡΑΦΙΚΗΣ ΟΜΑΔΑΣ

Παναγιώτης Β. Κόκκοτας, *Καθηγητής της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Αθηνών.*

Οι συγγραφείς ευχαριστούν τον Ιωάννη Βαγιωνάκη, Φυσικό, για τη συμβολή του στη συγγραφή ασκήσεων και ερωτήσεων, για τις παρατηρήσεις και υποδείξεις του, καθώς και για τη βοήθειά του στην επιμέλεια έκδοσης.

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΚΡΙΣΗΣ

Φλυτζάνης Νικόλαος *(Πρόεδρος), Καθηγητής Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Κρήτης.*
Καλοψικάκης Εμμανουήλ, *Φυσικός, τ. Σχολικός Σύμβουλος.*
Ξενάκης Χρήστος, *Δρ. Φυσικός, Σχολικός Σύμβουλος Φθιώτιδος.*
Πάλλας Δήμος, *Φυσικός, Υποδιευθυντής 1ου Λυκείου Λαμίας.*
Στεφανίδης Κωνσταντίνος, *Δρ. Φυσικός, Σχολικός Σύμβουλος Πειραιά.*

Τα κεφάλαια 3, 4 και 5 προέρχονται από το βιβλίο «Φυσική Θετικής και Τεχνολογικής Κατεύθυνσης Β΄ Τάξης Γενικού Λυκείου» ΙΤΥΕ «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ» 2013

ΟΜΑΔΑ ΣΥΓΓΡΑΦΗΣ

Αλέκος Ιωάννου
Γιάννης Ντάνος
Άγγελος Πήττας
Σταύρος Ράπτης

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Αντωνίου Νικόλαος, *Καθηγητής Παν/μίου Αθηνών, ως πρόεδρος.*
Ευθυμιόπουλος Θωμάς, *Αν. Καθηγητής του Παν/μίου Κρήτης.*
Αρναουτάκης Ιωάννης, *Σχ. Σύμβουλος ΠΕ4 Δ/θμιας Εκπαίδευσης.*
Καρανίκας Ιωάννης, *Σχ. Σύμβουλος ΠΕ4 Δ/θμιας Εκπαίδευσης.*
Πρίντζας Γεώργιος, *Σχ. Σύμβουλος ΠΕ4 Δ/θμιας Εκπαίδευσης.*
Κοτρόζου Αικατερίνη, *Φυσικός, M.Sc., Καθηγήτρια Δ/θμιας Εκπαίδευσης.*
Φωτάκης Ιωάννης, *Καθηγητής ΠΕ4 Δ/θμιας Εκπαίδευσης.*

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

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

ΕΣΠΑ 2007-2013
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

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

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

Τα κεφάλαια 1 και 2 προέρχονται από το βιβλίο «Φυσική Γενικής Παιδείας Β΄ Τάξης Γενικού Λυκείου» ΙΤΥΕ «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ» 2013

ΙΩΑΝΝΗΣ Α. ΒΛΑΧΟΣ
ΙΩΑΝΝΗΣ Γ. ΓΡΑΜΜΑΤΙΚΑΚΗΣ
ΒΑΣΙΛΗΣ Α. ΚΑΡΑΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ
ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Β. ΚΟΚΚΟΤΑΣ
ΠΕΡΙΚΛΗΣ ΕΜ. ΠΕΡΙΣΤΕΡΟΠΟΥΛΟΣ
ΓΙΩΡΓΟΣ Β. ΤΙΜΟΘΕΟΥ

Τα κεφάλαια 3, 4 και 5 προέρχονται από το βιβλίο «Φυσική Θετικής και Τεχνολογικής Κατεύθυνσης Β΄Τάξης Γενικού Λυκείου» ΙΤΥΕ «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ» 2013

ΑΛΕΚΟΣ ΙΩΑΝΝΟΥ
ΓΙΑΝΝΗΣ ΝΤΑΝΟΣ
ΑΓΓΕΛΟΣ ΠΗΤΤΑΣ
ΣΤΑΥΡΟΣ ΡΑΠΤΗΣ

Η συγγραφή και η επιστημονική επιμέλεια του βιβλίου πραγματοποιήθηκε
υπό την αιγίδα του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

Φυσική
Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών Σπουδών

Β΄ τάξη Γενικού Λυκείου

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΔΟΣΕΩΝ «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1 ΚΑΜΠΥΛΟΓΡΑΜΜΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ: ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΒΟΛΗ, ΚΥΚΛΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ

1.1 Οριζόντια βολή
1.2 Ομαλή κυκλική κίνηση
1.3 Κεντρομόλος δύναμη
1.4 Μερικές περιπτώσεις κεντρομόλου δύναμης

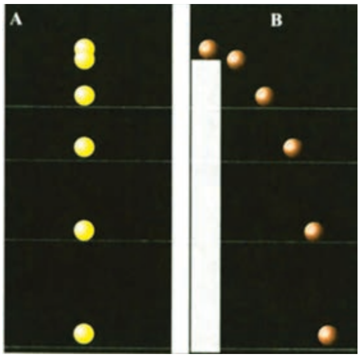
1-1 ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΒΟΛΗ

Χρησιμοποιώντας την κατάλληλη διάταξη μελέτης των κινήσεων, μπορούμε να μελετήσουμε την οριζόντια βολή. Από ένα ύψος αφήνουμε να πέσει ελεύθερα το αντικείμενο Α ξεκινώντας από την ηρεμία. Από το ίδιο ύψος ένα άλλο αντικείμενο Β αρχίζει να κινείται συγχρόνως με το αντικείμενο Α, αλλά τη στιγμή της εκκίνησής του δίνεται μια ώθηση προς τα δεξιά που προσδίδει στο σώμα οριζόντια ταχύτητα.

Τα αντικείμενα φωτογραφίζονται κατά τη διάρκεια της πτώσης με τον τρόπο που έχει περιγραφεί στη Φυσική της Α΄ Λυκείου. Οι φωτογραφίες της κίνησης φαίνονται στην εικόνα 1. Τι παρατηρείτε για την κίνηση του αντικειμένου Β σε σχέση με την κίνηση του Α;

Από την εικόνα φαίνεται ότι τις ίδιες χρονικές στιγμές βρίσκονται στο ίδιο ύψος, δηλαδή έχουν διανύσει την ίδια κατακόρυφη απόσταση.

Το αντικείμενο Β, ενώ πέφτει, ταυτόχρονα μετατοπίζεται και οριζόντια. Τι μπορούμε να συμπεράνουμε για την κίνηση του αντικειμένου Β; Από τη φωτογραφία φαίνεται ότι το αντικείμενο Β διανύει ίσα οριζόντια διαστήματα σε ίσους χρόνους. Η κίνηση που κάνει το αντικείμενο Β λέγεται **οριζόντια βολή**.



Εικ. 1.1
Χρονοφωτογραφίες
α) ελεύθερη πτώση
β) οριζόντια βολή.

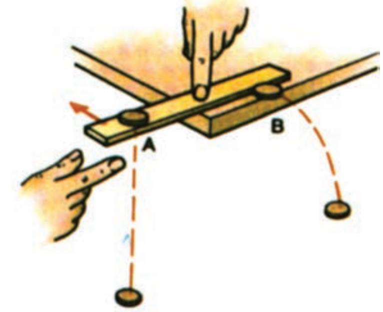
ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 1

Σύγχρονες κινήσεις - Ανεξαρτησία κινήσεων.

1. Στερεώστε τη συσκευή σύγχρονων κινήσεων επάνω σε οριζόντια ράβδο, η οποία στηρίζεται επάνω σε ορθοστάτη.
2. Υψώστε τη μεταλλική σφαίρα Σ, ώστε το στέλεχος ΣΑ (το οποίο μπορεί να στρέφεται γύρω από το άλλο άκρο του Α) να γίνει περίπου οριζόντιο. Αφήστε ελεύθερη τη σφαίρα Σ.
3. Μετά τη σύγκρουση τι κίνηση θα κάνει καθεμία από τις δύο μεταλλικές σφαίρες που συγκρατούνται από τα ελάσματα; Ακούγεται ένας χτύπος; Δηλαδή φθάνουν ταυτόχρονα στο δάπεδο;
4. Η κίνηση της σφαίρας που εκτινάσσεται οριζόντια είναι απλή ή συνδυασμός άλλων κινήσεων; Αν ισχύει το δεύτερο, προσδιορίστε τις επιμέρους απλές κινήσεις από τις οποίες συντίθεται.

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 2

Κατακόρυφη και οριζόντια κίνηση.



1. Τοποθέτησε έναν πλαστικό χάρακα και δύο πανομοιότυπα νομίσματα όπως φαίνεται στην εικόνα.
2. Πίεσε το χάρακα στο μέσο του με το δείκτη του ενός χεριού και χτύπησε απότομα την άκρη του χάρακα με το δείκτη του άλλου. Με τον τρόπο αυτό, το νόμισμα Α ελευθερώνεται και πέφτει κατακόρυφα, ενώ το Β εκτινάσσεται οριζόντια με κάποια αρχική ταχύτητα.
3. Άκουσε τα νομίσματα καθώς χτυπούν στο δάπεδο.
   i) Αν δεν υπήρχε η δύναμη της βαρύτητας, τι κίνηση θα έκανε το νόμισμα Β μετά το χτύπημα από το χάρακα; Αν δεν υπήρχε η αρχική οριζόντια ταχύτητα από το χτύπημα του χάρακα, τι κίνηση θα έκανε το νόμισμα Β, όταν θα αφηνόταν ελεύθερο από το ίδιο ύψος; Δικαιολόγησε τις απαντήσεις σου.
   ii) Η κίνηση του νομίσματος Β είναι απλή ή συνδυασμός άλλων απλών κινήσεων; Αν συμβαίνει το δεύτερο, τότε ποιες είναι αυτές;
   iii) Τα δύο νομίσματα αρχίζουν τις κινήσεις τους συγχρόνως. Μήπως επίσης φθάνουν συγχρόνως στο δάπεδο; Αν ναι, τότε τι συμπεραίνεις για τις (κατακόρυφες) επιταχύνσεις τους;
4. Η οριζόντια κίνηση του νομίσματος Β επηρεάζει την άλλη επιμέρους κίνησή του (την πτώση του κατά την κατακόρυφη διεύθυνση); Είναι ανεξάρτητη η μία κίνηση από την άλλη; Μπορούμε επομένως, όταν ασχολούμαστε με μία σύνθετη κίνηση σώματος, να μελετούμε ξεχωριστά τις επιμέρους απλές κινήσεις που τη συνθέτουν;

Συνοψίζοντας, μπορούμε να υποστηρίξουμε ότι **η οριζόντια βολή είναι σύνθετη κίνηση** που αποτελείται από δύο απλές κινήσεις, μία *κατακόρυφη* που είναι ελεύθερη πτώση και μία *οριζόντια* που είναι ευθύγραμμη ομαλή.

Οι δύο κινήσεις εξελίσσονται στο ίδιο κατακόρυφο επίπεδο που ορίζεται από την ταχύτητα του αντικειμένου Β.

Για να περιγράψουμε τις σύνθετες κινήσεις χρησιμοποιούμε **την αρχή ανεξαρτησίας (ή αρχή της επαλληλίας) των κινήσεων**, που διατυπώνεται ως εξής:

“Όταν ένα κινητό εκτελεί ταυτόχρονα δύο ή περισσότερες κινήσεις, κάθε μία απ’ αυτές εκτελείται εντελώς ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες και η θέση στην οποία φτάνει το κινητό μετά από χρόνο t, είναι η ίδια είτε οι κινήσεις εκτελούνται ταυτόχρονα, είτε εκτελούνται διαδοχικά, σε χρόνο t κάθε μία”.

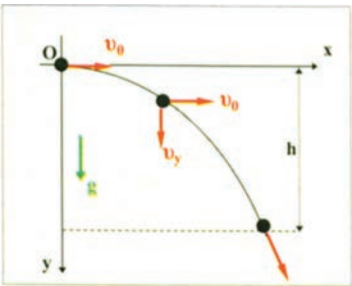
Για τον υπολογισμό της ταχύτητας και της μετατόπισης, μετά από χρόνο t, γράφουμε το διανυσματικό άθροισμα των ταχυτήτων ή των μετατοπίσεων αντίστοιχα, που θα είχε το κινητό, αν εκτελούσε κάθε μία κίνηση ανεξάρτητα και επί χρόνο t.

Δηλαδή:

$$\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}_1 + \vec{\upsilon}_2 \quad \text{και} \quad \vec{x} = \vec{x}_1 + \vec{x}_2 \quad (1)$$

Ας επανέλθουμε στο αρχικό παράδειγμα για να μελετήσουμε την κίνηση του αντικειμένου Β. Έστω h ότι είναι το ύψος από το οποίο βάλλεται οριζόντια με ταχύτητα υ_0 το αντικείμενο Β.

Εφαρμόζουμε την αρχή ανεξαρτησίας των κινήσεων σε σύστημα αξόνων Οx και Οy, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.



Εικ. 1.2

Άξονας Οx: Η κίνηση είναι ευθύγραμμη ομαλή με ταχύτητα υ_0 και οι εξισώσεις που περιγράφουν την κίνηση κατά τη διεύθυνση (**x**) είναι:

$$\upsilon_x = \upsilon_0$$

$$x = \upsilon_0 \, t$$

Άξονας Οy: Η κίνηση είναι ελεύθερη πτώση που είναι κίνηση ευθύγραμμη ομαλά επιταχυνόμενη χωρίς αρχική ταχύτητα με επιτάχυνση $\vec{g}$.

Οι εξισώσεις που περιγράφουν την κίνηση κατά τη διεύθυνση (**y**) είναι:

$$\upsilon_y = g\,t$$

$$y = \frac{1}{2}\, g\, t^2$$

Κάθε στιγμή η ταχύτητα του σώματος είναι: $\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}_x + \vec{\upsilon}_y$.

Ο χρόνος κίνησης του σώματος βρίσκεται από την τελευταία σχέση, αν αντικαταστήσουμε όπου y = h.

Δηλαδή:

$$h = \frac{1}{2}\, g\, t^2 \qquad \text{ή} \qquad t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Στο χρόνο αυτό το σώμα διάνυσε οριζόντια απόσταση ίση με:

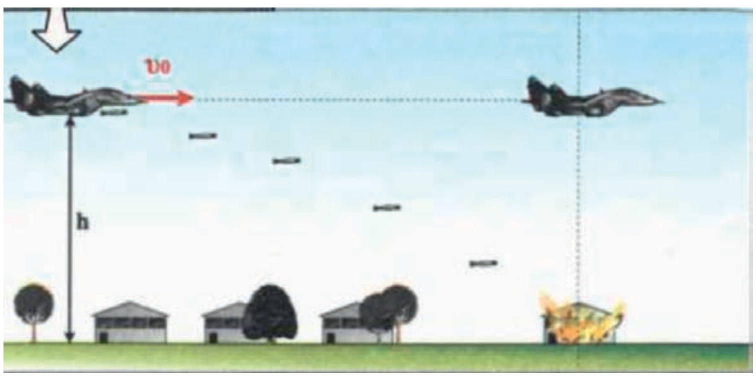
$$x = \upsilon_0 \, t \qquad (2)$$

Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι οι δύο κινήσεις εκτελούνται από το σώμα Β, ανεξάρτητα η μία από την άλλη, είτε ταυτόχρονα είτε διαδοχικά. Κάθε μία κίνηση διαρκεί χρόνο:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (3)$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Ας θεωρήσουμε ένα βομβαρδιστικό αεροπλάνο που κινείται σε ύψος h από το έδαφος με ταχύτητα υ_0. Η βόμβα βρίσκεται στο αεροπλάνο, άρα τη στιγμή που αφήνεται να πέσει έχει την ίδια ταχύτητα με το αεροπλάνο. Ποιους παράγοντες πρέπει να λάβει υπόψη ο πιλότος ώστε η βόμβα να χτυπήσει το στόχο; Υποθέτουμε ότι δεν υπάρχει αντίσταση του αέρα.



Το αεροπλάνο ελευθερώνει τη βόμβα.

Είναι προφανές ότι οι παράγοντες που θα παίξουν καθοριστικό ρόλο είναι το ύψος στο οποίο το αεροπλάνο πετά, η ταχύτητά του και η οριζόντια απόστασή του από το στόχο τη στιγμή που απελευθερώνει τη βόμβα.

Η κίνηση της βόμβας στον κατακόρυφο άξονα είναι ελεύθερη πτώση ($\upsilon = \upsilon_0$) και άρα ισχύει:

$$h = \frac{1}{2} g t^2$$

Στην εξίσωση αυτή ο μόνος άγνωστος είναι ο χρόνος κατά τον οποίο κινείται η βόμβα. Επομένως μπορεί να προσδιοριστεί. Επιπλέον η βόμβα κινείται οριζόντια με κίνηση ευθύγραμμη ομαλή επί χρόνο t, όσο δηλαδή διαρκεί η ελεύθερη πτώση της.

Το οριζόντιο διάστημα που θα διανύσει η βόμβα προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$s = \upsilon_0 t$$

όπου υ_0 είναι η οριζόντια ταχύτητα της βόμβας, που είναι ίση με την ταχύτητα του αεροπλάνου τη στιγμή που αυτή απελευθερώνεται.

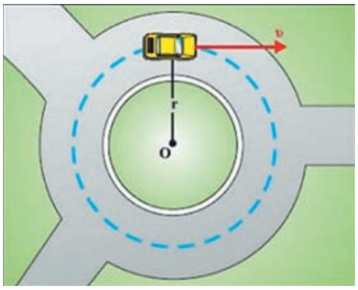
Συνεπώς, για να συναντήσει η βόμβα το στόχο, το αεροπλάνο πρέπει να την απελευθερώσει, όταν απέχει απ' αυτόν οριζόντια απόσταση $s = \upsilon_0 t$.

Τη χρονική στιγμή που η βόμβα βρίσκει το στόχο το αεροπλάνο βρίσκεται στην ίδια κατακόρυφη (αεροπλάνο και βόμβα έχουν ίδια οριζόντια ταχύτητα, άρα μετατοπίζονται το ίδιο στην οριζόντια διεύθυνση στον ίδιο χρόνο).

1-2 ΟΜΑΛΗ ΚΥΚΛΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ

Ένα κινητό κάνει κυκλική κίνηση όταν η τροχιά που διαγράφει είναι περιφέρεια κύκλου (Εικ. 3). Η πιο απλή από τις κυκλικές κινήσεις είναι η **ομαλή κυκλική** (Εικ. 4).

Εικόνα 1.3 Η Γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της με σταθερή περίοδο. Αν τοποθετήσουμε στο Βόρειο Πόλο μία φωτογραφική μηχανή, αυτή στη διάρκεια της νύχτας θα φωτογραφίσει τις τροχιές των άστρων. Όπως φαίνεται στη φωτογραφία, τα άστρα φαίνεται να κάνουν κυκλική κίνηση.



Εικ. 1.4 Το αυτοκίνητο κινείται στην κυκλική πλατεία με σταθερή ταχύτητα.

Ομαλή χαρακτηρίζεται η κυκλική κίνηση ενός κινητού, όταν η τιμή της ταχύτητάς του παραμένει σταθερή.

Ο χρόνος που χρειάζεται το κινητό για να κάνει μια περιφορά λέγεται **περίοδος** της κυκλικής κίνησης και συμβολίζεται με **Τ**.

Ο αριθμός των περιφορών που εκτελεί το κινητό στη μονάδα του χρόνου λέγεται **συχνότητα** της κυκλικής κίνησης και συμβολίζεται με **f**.

Από τον ορισμό της συχνότητας προκύπτει ότι η περίοδος και η συχνότητα συνδέονται με τη σχέση:

$$\boxed{f = \frac{1}{T}} \qquad (4)$$

Μονάδα της συχνότητας είναι ο κύκλος ανά δευτερόλεπτο (c/s) που λέγεται **1Hz** (Χερτζ) προς τιμή του φυσικού Hertz που θεωρείται ένας από τους πρωτοπόρους στη μελέτη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

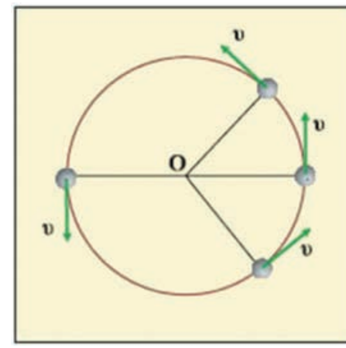
Πολλαπλάσια της μονάδας αυτής είναι:
1kHz = 10^3Hz, 1MHz = 10^6Hz, 1GHz = 10^9Hz.

Η ομαλή κυκλική κίνηση είναι γνωστή σε όλους μας. Τέτοια κίνηση κάνει το άκρο του λεπτοδείκτη του ρολογιού, ένα σημείο του περιστρεφόμενου δίσκου στο πικάπ κ.τ.λ.

Η ομαλή κυκλική κίνηση εντάσσεται σε μια μεγάλη κατηγορία κινήσεων που λέγονται **περιοδικές**. Μια τέτοια κίνηση έχει το χαρακτηριστικό ότι επαναλαμβάνεται η ίδια στον ίδιο πάντα χρόνο που λέγεται περίοδος (**T**).

Γραμμική ταχύτητα

Σύμφωνα με τον ορισμό της ομαλής κυκλικής κίνησης η τιμή της ταχύτητας του κινητού παραμένει σταθερή, ενώ η κατεύθυνσή της μεταβάλλεται συνεχώς, επειδή κάθε στιγμή είναι εφαπτόμενη στην τροχιά (Εικ. 5). Άρα τα διανυόμενα τόξα είναι ανάλογα των χρόνων στους οποίους διανύονται. Μπορούμε συνεπώς να γράψουμε:



Εικ. 1.5

$$s = \upsilon\, t$$

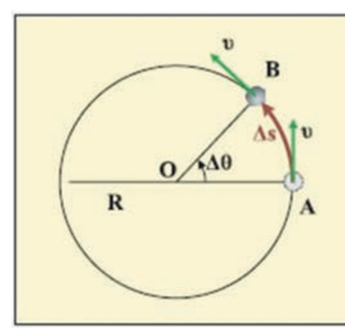
Επομένως το μέτρο της ταχύτητάς του, που ονομάζεται **γραμμική ταχύτητα**, θα είναι:

$$\upsilon = \frac{s}{t}$$

Αν στον τελευταίο τύπο θέσουμε $t = T$, τότε το τόξο που θα διανύσει το κινητό θα έχει μήκος $s = 2\pi\, R$ (το μήκος της περιφέρειας της κυκλικής τροχιάς), οπότε:

$$\upsilon = \frac{2\pi\, R}{T} \qquad (5)$$

Ας υποθέσουμε ότι τη χρονική στιγμή $t = 0$ το κινητό βρίσκεται στη θέση Α και μετά από χρόνο t, κινούμενο κατά τη φορά που φαίνεται στην εικόνα 6, με γραμμική ταχύτητα υ, βρίσκεται στη θέση Β, έχοντας διανύσει το τόξο Δs. Η θέση του κινητού πάνω στην τροχιά του μπορεί να προσδιορισθεί, κάθε στιγμή, με δύο τρόπους (Εικ. 6):

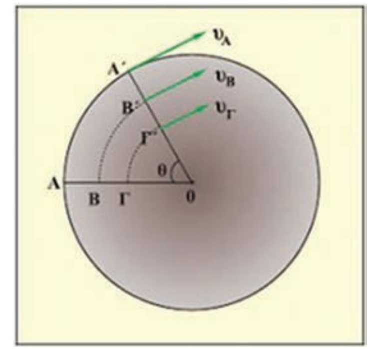


Εικ. 1.6

1) Με τη μέτρηση του μήκους του τόξου ΑΒ ($\Delta s = \upsilon\, \Delta t$).
2) Με τη μέτρηση της γωνίας $A\hat{O}B$ ($A\hat{O}B = \Delta\theta$) την οποία διαγράφει μια ακτίνα, που θεωρούμε ότι συνδέει κάθε στιγμή το κινητό με το κέντρο της τροχιάς του (επιβατική ακτίνα). Έτσι όταν το κινητό θα έχει "διανύσει" τόξο μήκους Δs η επιβατική ακτίνα θα έχει "διαγράψει" επίκεντρη γωνία Δθ.

Γωνιακή ταχύτητα

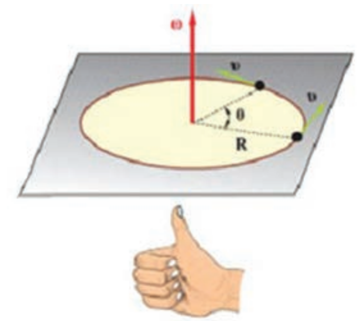
Ας θεωρήσουμε το σχήμα της εικόνας (Εικ. 7) όπου φαίνεται ένας δίσκος που περιστρέφεται και τα σημεία του κάνουν ομαλή κυκλική κίνηση. Έστω τρία σημεία Α, Β και Γ του δίσκου που βρίσκονται πάνω στην ίδια ακτίνα. Σε ένα μικρό χρονικό διάστημα, τα τρία σημεία βρίσκονται στις θέσεις Α΄, Β΄ και Γ΄ αντίστοιχα και έχουν διαγράψει την ίδια γωνία θ. Ωστόσο τα μήκη των αντίστοιχων τόξων ΑΑ΄, ΒΒ΄, ΓΓ΄ είναι διαφορετικά μεταξύ τους, γεγονός που σημαίνει ότι οι γραμμικές ταχύτητες των σημείων Α, Β, Γ διαφέρουν (Εικ. 7).



Εικ. 1.7

Στην ομαλή κυκλική κίνηση λοιπόν, εκτός από την ταχύτητα (γραμμική) που δίνει το ρυθμό με τον οποίο διανύει το κινητό διαστήματα, χρειαζόμαστε και ένα άλλο μέγεθος που να δείχνει με τι ρυθμό η επιβατική ακτίνα διαγράφει γωνίες. Γι’ αυτό ορίζουμε ένα νέο φυσικό μέγεθος που λέγεται **γωνιακή ταχύτητα** και συμβολίζεται με **ω**.

Γωνιακή ταχύτητα στην ομαλή κυκλική κίνηση ενός κινητού ονομάζουμε ένα διανυσματικό μέγεθος του οποίου:



Εικ. 1.8

- Η τιμή είναι ίση με το σταθερό πηλίκο της γωνίας θ που διαγράφηκε από την επιβατική ακτίνα σε χρονικό διάστημα t διά του αντίστοιχου χρονικού διαστήματος. Δηλαδή (Εικ. 8):

$$\omega = \frac{\theta}{t} \qquad (6)$$

- Η διεύθυνση είναι κάθετη στο επίπεδο της τροχιάς.

- Η φορά καθορίζεται με τον κανόνα του δεξιού χεριού όπως στην εικόνα. Το διάνυσμα $\vec{\omega}$ έχει τη φορά του αντίχειρα του δεξιού χεριού όταν η φορά περιστροφής του κινητού συμπίπτει με τη φορά των υπόλοιπων δακτύλων.

Στην ομαλή κυκλική κίνηση σε χρόνο μιας περιόδου Τ η επιβατική ακτίνα θα έχει διαγράψει γωνία 2π rad.

Άρα η σχέση (6) γράφεται:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \qquad (7)$$

Επειδή $\frac{1}{T} = f$ η σχέση (7) γράφεται: $\omega = 2\pi f$.

Μονάδα γωνιακής ταχύτητας

Ως μονάδα γωνιακής ταχύτητας, σύμφωνα με τη σχέση (6), χρησιμοποιούμε το ακτίνιο ανά δευτερόλεπτο (**1rad/s**).

Σχέση μεταξύ της γραμμικής και της γωνιακής ταχύτητας

Για να βρούμε τη σχέση που συνδέει τη γραμμική με τη γωνιακή ταχύτητα αντικαθιστούμε στη σχέση (5) το πηλίκο 2π/Τ με το ω, οπότε προκύπτει:

$$\upsilon = \omega R \qquad (8)$$

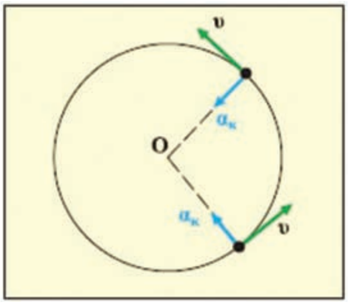
Η σχέση αυτή συνδέει τη γραμμική ταχύτητα με τη γωνιακή και με την ακτίνα της τροχιάς. Φαίνεται απ' αυτήν πως όλα τα σημεία ενός περιστρεφόμενου δίσκου (Εικ. 7), ενώ έχουν την ίδια γωνιακή ταχύτητα (ω), έχουν γραμμικές ταχύτητες (υ) η τιμή των οποίων είναι ανάλογη με την απόστασή τους από τον άξονα (κέντρο) περιστροφής.

Κεντρομόλος επιτάχυνση

Στην ομαλή κυκλική κίνηση η τιμή της ταχύτητας είναι σταθερή, όμως η διεύθυνση και η φορά αλλάζουν συνεχώς. Άρα το διάνυσμα της ταχύτητας αλλάζει με αποτέλεσμα να εμφανίζεται επιτάχυνση που έχει κατεύθυνση προς το κέντρο της κυκλικής τροχιάς (Εικ. 9) και λέγεται **κεντρομόλος επιτάχυνση α_κ**.

Αποδεικνύεται ότι το μέτρο της κεντρομόλου επιτάχυνσης δίνεται από τη σχέση:

$$\alpha_\kappa = \frac{\upsilon^2}{R} \qquad (9)$$



Εικ. 1.9

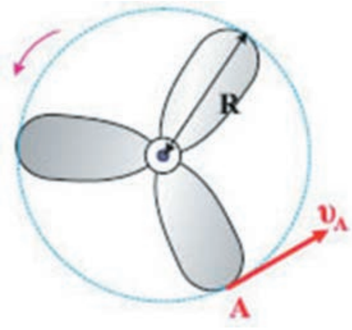
ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

Ξεκινώντας από τη σχέση (9) και χρησιμοποιώντας τις σχέσεις (4), (7) και (8), να εκφράσετε την κεντρομόλο επιτάχυνση και με άλλες σχέσεις.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Το άκρο (Α) του πτερυγίου ενός ανεμιστήρα στρέφεται με γραμμική ταχύτητα 15m/s και η ακτίνα του έχει μήκος 60cm.

- Να υπολογιστούν: η περίοδος, η συχνότητα και η γωνιακή ταχύτητα.
- Να υπολογισθεί επίσης ποιο μήκος τόξου s θα έχει διανυθεί σε χρόνο ενός εκατοστού του δευτερολέπτου.



Απάντηση

Από τη σχέση $\upsilon = \frac{2\pi R}{T}$ επιλύοντας ως προς την περίοδο Τ βρίσκουμε: