



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



# Εμβιομηχανική επανάληψη 1

Αθανάσιος Τσιόκανος, Καθηγητής Βιοκινητικής  
Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού

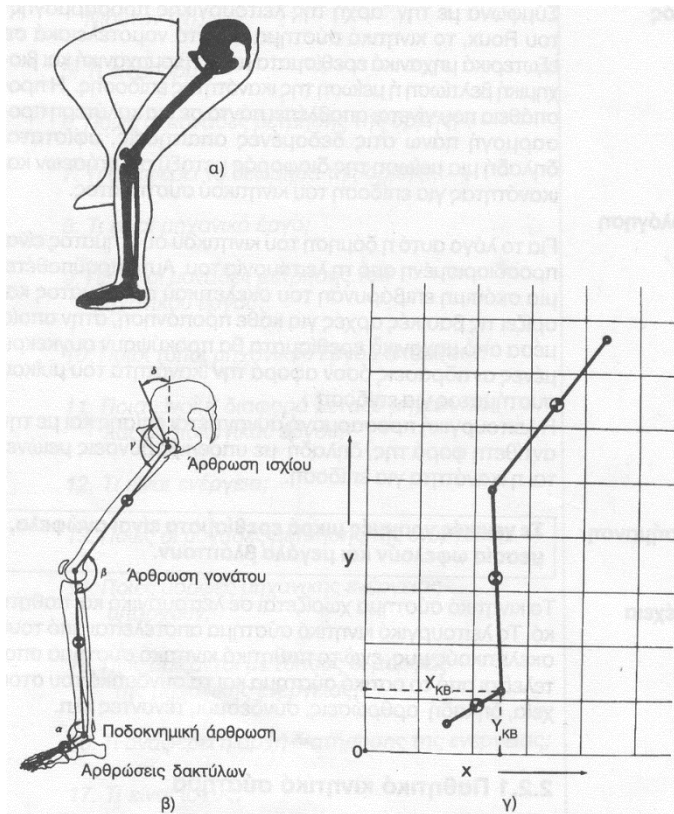
# Ορισμός 1

- Η εμβιομηχανική διεθνώς ονομάζεται **biomechanics**
- Στο «**Dornand's Illustrated Medical Dictionary**» :  
«Εμβιομηχανική είναι η **εφαρμογή των νόμων της μηχανικής στα βιολογικά συστήματα** και ειδικότερα στο κινητικό σύστημα του ανθρώπινου σώματος».
- Η εμβιομηχανική **εξετάζει την κίνηση των μελών του σώματος, ή και του ίδιου του σώματος ως ολότητα**, υπό το πρίσμα των φυσικών νόμων και ειδικότερα των νόμων της κλασικής μηχανικής.

# Ορισμός 2

- Η **Αθλητική εμβιομηχανική** (ή εμβιομηχανική των αθλητικών κινήσεων) εξετάζει και ερευνά **τις κινήσεις του σώματος που σχετίζονται με την αθλητική προσπάθεια.**
- Πολλοί χρησιμοποιούν τον όρο «**κινησιολογία**» (αποδίδει κυρίως το αντικείμενο μελέτης της **λειτουργικής ανατομίας**).
- Πριν από λίγα χρόνια ιδρύθηκε και η ΕΛ.ΕΜΒΙΟ (η ελληνική εταιρεία εμβιομηχανικής).

# Ο κινητικός μηχανισμός του ανθρώπου 1



- Η εκτέλεση μιας κίνησης βρίσκεται σε άμεση εξάρτηση με τη δομή και τις ιδιότητες του ανθρώπινου σώματος.
- Η πολυπλοκότητα της κατασκευής και των λειτουργιών του σώματος καθιστά σύνθετες και πολύπλοκες και τις κινήσεις του.
- Η εμβιομηχανική εξετάζει τον κινητικό μηχανισμό του ανθρώπου ως πιο απλοποιημένο μοντέλο του σώματος.

# Ο κινητικός μηχανισμός του ανθρώπου 2

Ο κινητικός μηχανισμός περιλαμβάνει

- τους μυς (ενεργητικό μέρος-δυνάμεις),
- τα οστά και τις αρθρώσεις (παθητικό μέρος-μοχλοί).
- Ο μηχανισμός αυτός εντάσσεται σε ένα σύνθετο σύστημα μελέτης των κινήσεων του ανθρώπου (βιομηχανικό σύστημα) που περιλαμβάνει :
  - την πηγή ενέργειας,
  - τον κινητικό μηχανισμό,
  - το αντικείμενο της κίνησης
  - το σύστημα διεύθυνσής τους (όργανα ελέγχου: εγκέφαλος, νεύρα, αισθητήρια όργανα)

# Ο κινητικός μηχανισμός του ανθρώπου 3

- Ο κινητικός μηχανισμός του ανθρώπου διαφέρει σημαντικά από τους κινητικούς μηχανισμούς και τις μηχανές παραγωγής έργου γιατί η λειτουργία του υπόκειται σε διαρκείς μεταβολές.
- Βελτιώνεται δομικά και λειτουργικά με τη φυσική δραστηριότητα, ενώ παρουσιάζει εκφυλιστικά φαινόμενα στην απραξία. Το αντίθετο συμβαίνει με τις μηχανές.
- Επίσης η μηχανή είναι κατασκευασμένη ώστε το κάθε μέρος της να εκτελεί μια ορισμένη κίνηση με τον ίδιο πάντα τρόπο. Από την άλλη ο κινητικός μηχανισμός του ανθρώπου έχει απεριόριστες δυνατότητες εκτέλεσης διαφορετικών κινήσεων. Όμως εκτελεί με ακρίβεια κάποιον κινητικό στόχο με ορισμένες κάθε φορά κινήσεις.
- Διαφορά υπάρχει επίσης και λόγω της αντανακλαστικής φύσης των κινητικών ενεργειών του ανθρώπου (εξαρτημένα και μη αντανακλαστικά).

# Αντικείμενο μελέτης της εμβιομηχανικής 1

- Οι κινήσεις του ανθρώπου συνήθως διακρίνονται σε :
  - α) κινήσεις της καθημερινότητας
  - β) κινήσεις παραγωγής
  - γ) κινήσεις των αναπήρων και κινήσεις αποκατάστασης τραυματών
  - δ) κινήσεις προς εκπλήρωση αθλητικών στόχων
  - ε) κινήσεις σε συνθήκες έλλειψης βαρύτητας (διαστημικές συνθήκες, κλπ).
- Μπορούν να αποτελέσουν στον ένα ή στον άλλο βαθμό αντικείμενο μελέτης της εμβιομηχανικής.

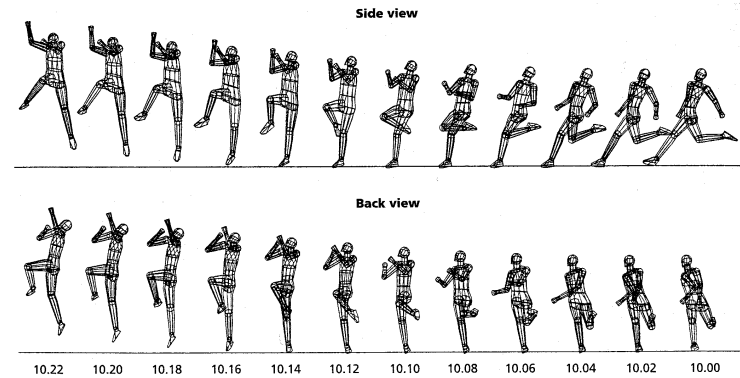
# Αντικείμενο μελέτης της εμβιομηχανικής 2

- Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η **αθλητική εμβιομηχανική**.
- Βασικός της στόχος είναι η επεξεργασία των επιστημονικών βάσεων της αθλητικής τεχνικής με σκοπό την αποτελεσματική εφαρμογή των δυνάμεων προς εκπλήρωση του τιθέμενου κινητικού στόχου.
- Ο καθορισμός της αποτελεσματικότητας των εφαρμοζόμενων δυνάμεων γίνεται στη βάση της αντιπαράθεσης της δαπανούμενης ενέργειας και του λαμβανόμενου αποτελέσματος.
- Με άλλα λόγια, ο προβληματισμός στρέφεται γύρω από τη μεγιστοποίηση του αποτελέσματος στην προσπάθεια του αθλητή ή γύρω από την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος με τη μικρότερη προσπάθεια (ενεργειακή δαπάνη).

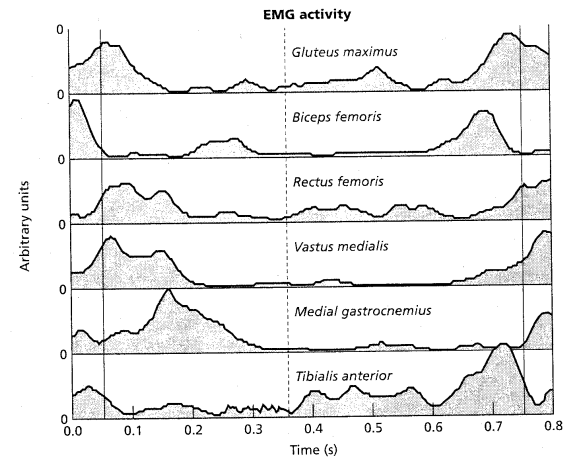
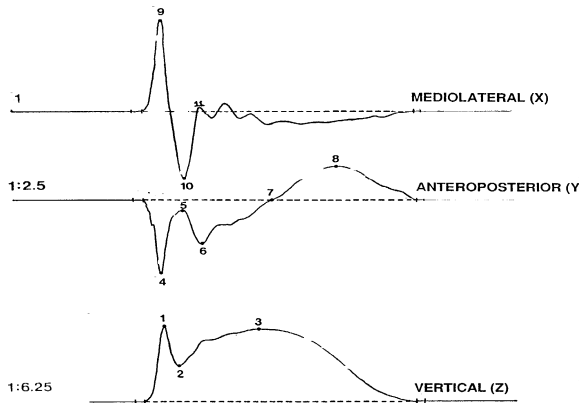


# Εφαρμογές 1

## Ανάλυση και προσδιορισμός της αποτελεσματικότερης αθλητικής τεχνικής

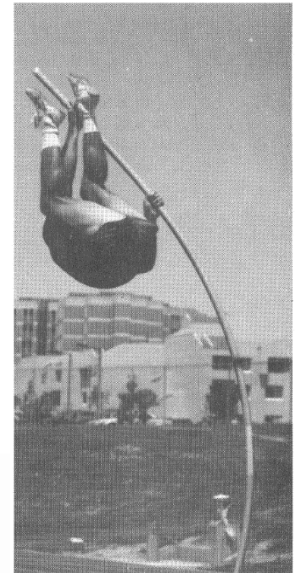
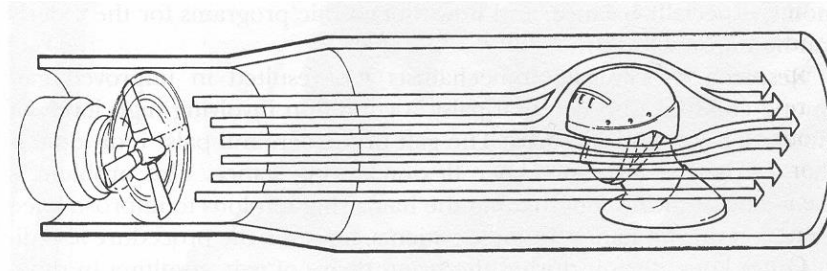


TYPICAL CURVES OF GROUND REACTION FORCES AND THEIR CRITICAL MOMENTS FOR EVALUATION



# Εφαρμογές 2

Αθλητικός εξοπλισμός  
Αποκατάσταση του ανθρώπινου κινητικού μηχανισμού



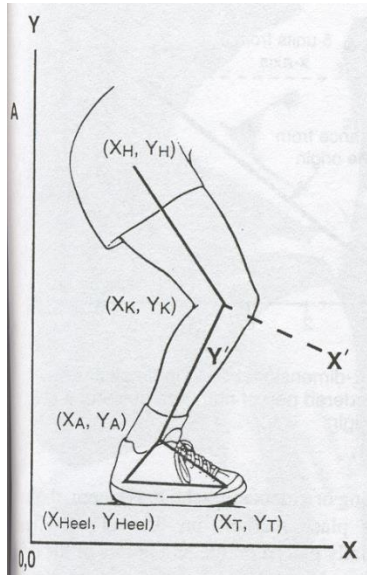
# Συστήματα μονάδων

- Για τη μελέτη ενός φαινομένου και τη σύγκρισή του με κάποιο άλλο χρησιμοποιείται ένα μέτρο σύγκρισης.
- Μέτρο σύγκρισης είναι η βασική μονάδα μέτρησης και αποτελείται από μία προκαθορισμένη ποσότητα αυτού που μετριέται .
- Έχουν επικρατήσει τρία συστήματα μονάδων:
  - M.K.S. ( m, Kg, sec )
  - C.G.S. ( cm, gr, sec )
  - Αγγλοσαξονικό ( feet, slug, sec ).

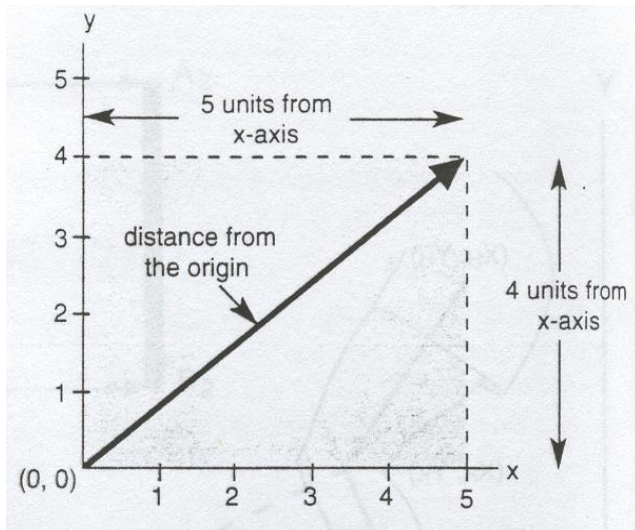
# Σημεία και συστήματα αναφοράς

- Όταν η ανάλυση της κίνησης γίνεται σε μια διάσταση (ευθεία) τότε το σύστημα αναφοράς συνίσταται στο σημείο αναφοράς και σε έναν άξονα, με θετική φορά αν η κίνηση γίνεται προς τα δεξιά του σημείου αναφοράς και αρνητική αν γίνεται προς τα αριστερά του.
- Όταν η κίνηση γίνεται στο επίπεδο (δύο διαστάσεις) έχουμε δύο άξονες κάθετους μεταξύ τους, τον κατακόρυφο (Y) και τον οριζόντιο (X).
- Όταν η κίνηση γίνεται στο χώρο, έχουμε τρεις άξονες (X,Y,Z), ο Z (καθορίζει το βάθος) κάθετος στο επίπεδο των X-Y.
- Οι ανάγκες της μελέτης καθορίζουν και την επιλογή του κατάλληλου συστήματος αναφοράς.

# Ορθογώνιο σύστημα αναφοράς (στο επίπεδο)



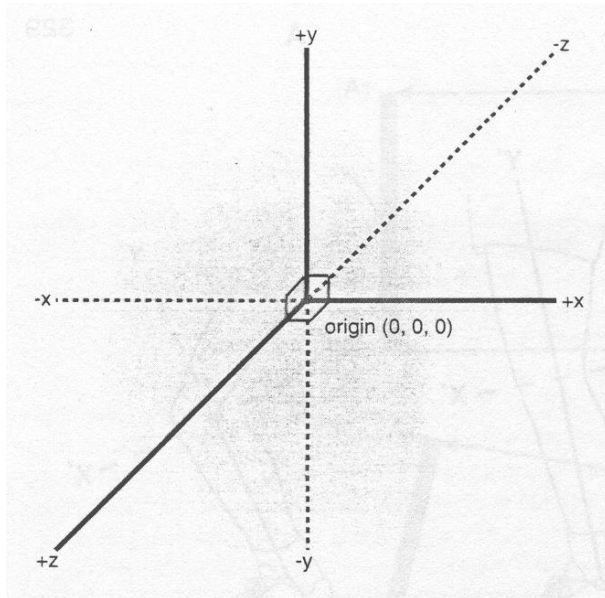
- Το σύστημα ορίζεται από:
- ένα σύστημα δύο κάθετα τεμνόμενων αξόνων
- το μηδενικό σημείο  $O$  (σημείο τομής τους).
- Οι άξονες  $X'X$  (οριζόντιος) και  $Y'Y$  (κατακόρυφος) χωρίζουν το επίπεδο σε τέσσερα τεταρτημόρια.



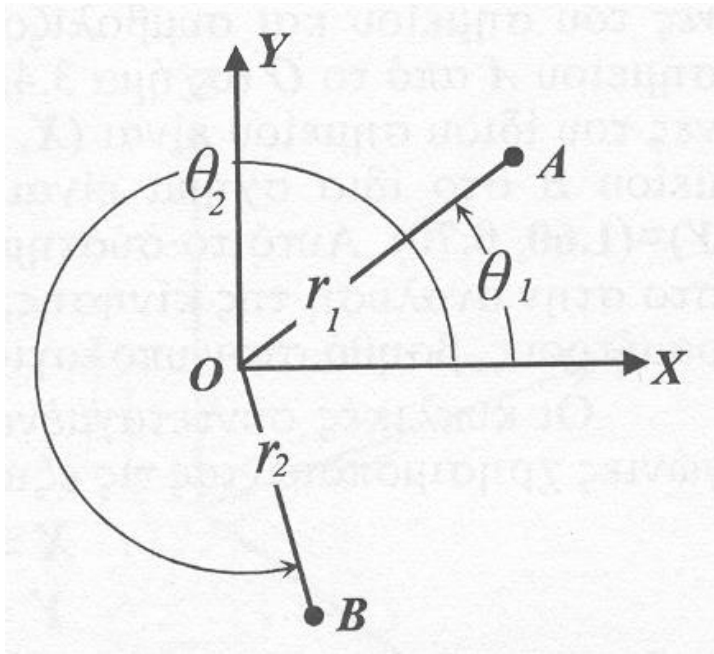
- Η θέση κάποιου σημείου ορίζεται από τις αποστάσεις της προβολής του στον οριζόντιο και στον κατακόρυφο άξονα.
- Οι αποστάσεις αυτές ονομάζονται ορθογώνιες συντεταγμένες του σημείου, συμβολίζονται  $(X,Y)$ .

# Τρισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα

- Σημείο αναφοράς είναι το σημείο O και άξονας αναφοράς ο OX.
- Οι διευθύνσεις των τριών αξόνων παίρνονται με τη μέθοδο της αριστερής παλάμης :
- αντίχειρας - Z άξονας, δείκτης - Y άξονας, μέσος δάκτυλος - X άξονας.
- Οι συντεταγμένες ενός σημείου είναι (X,Y,Z)
- X η κάθετη απόσταση του σημείου από το επίπεδο Y-Z
- Y η κάθετη απόσταση από το επίπεδο X-Z
- Z η κάθετη απόσταση από το επίπεδο X-Y



# Κυκλικό ή πολικό σύστημα αναφοράς (στο επίπεδο)



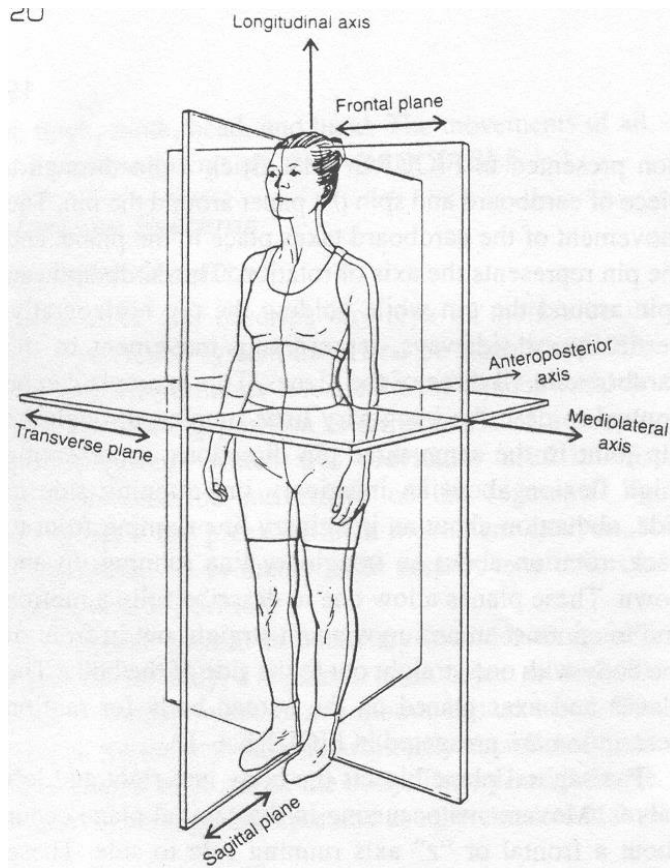
- Το σύστημα ορίζεται από:
- το μηδενικό σημείο  $O$
- και τον οριζόντιο άξονα  $OX$
- Η θέση ενός σημείου  $A$  καθορίζεται από:
- την απόσταση ( $r$ ) του σημείου  $A$  από το  $O$
- και από τη γωνία  $\theta$ , που σχηματίζει η ακτίνα  $r$  (απόσταση  $OA$ ) με τον άξονα  $OX$ .
- Κυκλικές ή πολικές συντεταγμένες:  $(r, \theta)$

# Ορθογώνιες και κυκλικές συντεταγμένες (στο επίπεδο)

- Μετατροπή κυκλικών συντεταγμένων σε ορθογώνιες:
- $X = r \cdot \sigma\upsilon\nu\theta$
- $Y = r \cdot \eta\mu\theta$
  
- Μετατροπή των ορθογωνίων σε κυκλικές:
- $r^2 = X^2 + Y^2$
  
- $\theta = \text{τοξεφ } Y/X$

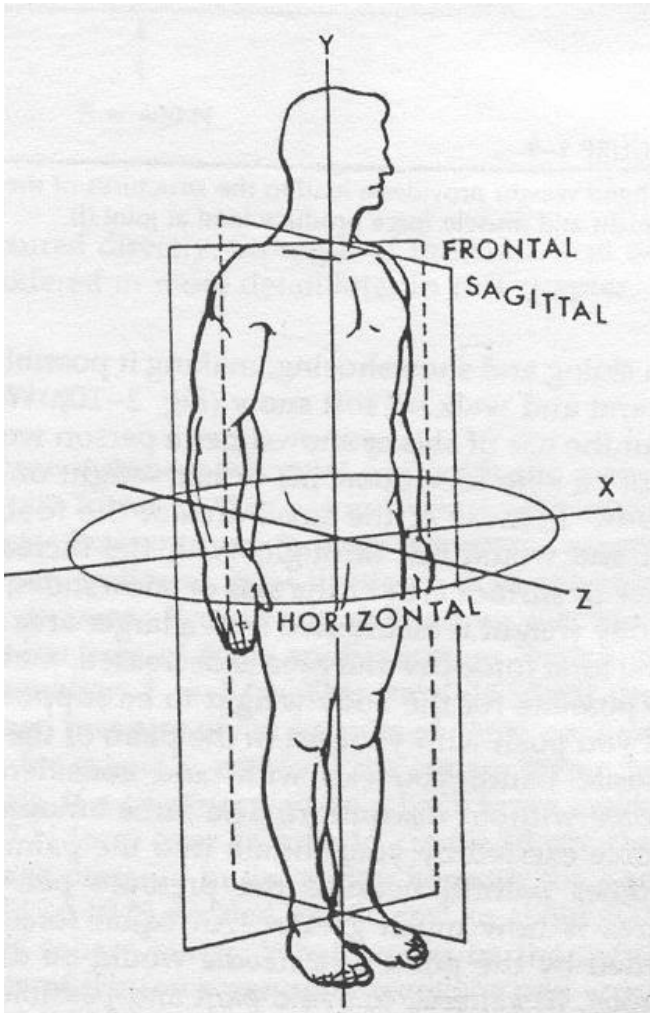


# Άξονες και επίπεδα στο ανθρώπινο σώμα 1



- Σημείο αναφοράς και σημείο τομής των αξόνων το Κέντρο Μάζας του σώματος.
- Άξονες:
- Χ - Μέσος ή Προσθιοπίσθιος (διαπερνά το σώμα από πίσω προς τα μπρος).
- Υ - Εγκάρσιος ή Πλάγιος (διαπερνά το σώμα από αριστερά προς τα δεξιά).
- Ζ - Επιμήκης άξονας (διαπερνά το σώμα κατά μήκος, από τα πόδια προς το κεφάλι).

# Άξονες και επίπεδα στο ανθρώπινο σώμα 2

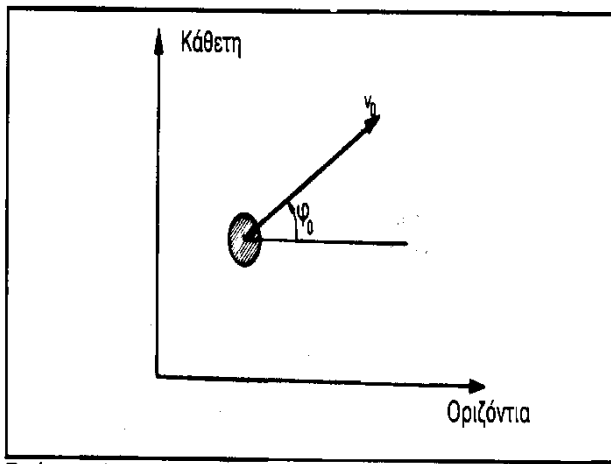


- Επίπεδα:
- Προσθιοπίσθιο ή οβελιαίο (καθορίζεται από τους άξονες X,Z).
- Μετωπιαίο (καθορίζεται από τους άξονες Y,Z).
- Εγκάρσιο (καθορίζεται από τους άξονες X,Y).

# Μονόμετρα και διανυσματικά μεγέθη

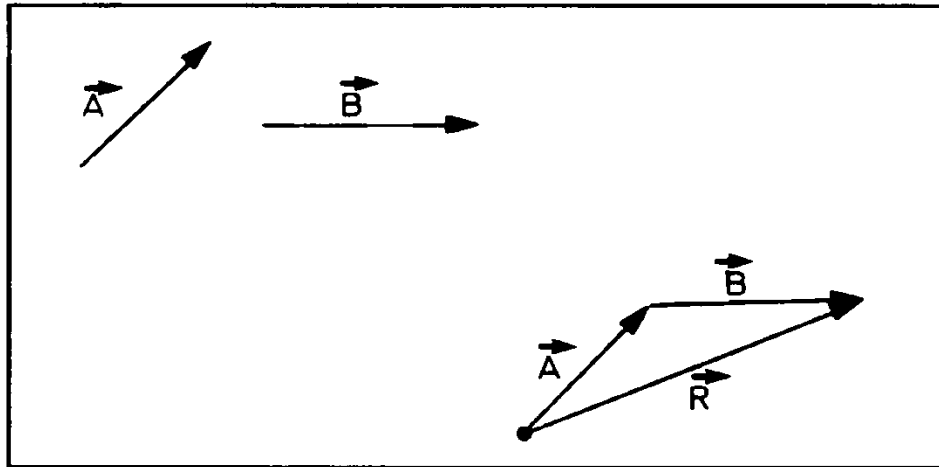
- Μονόμετρα: έχουν μόνο μέτρο.
- Συμβολίζονται με τον αριθμό και τη μονάδα μέτρησης 20 Kg μάζας, 5 sec, κλπ.
- Διανυσματικά: έχουν μέτρο, αρχή, τέλος, διεύθυνση, φορά (θετική ή αρνητική).
- Συμβολίζονται με τον αριθμό και τη μονάδα μέτρησης, το πρόσημο (θετικό, αρνητικό), τη διεύθυνση προσανατολισμού.
- Διανυσματικά μεγέθη είναι η μετατόπιση, ταχύτητα, επιτάχυνση (γραμμικές ή γωνιακές), η δύναμη, η ορμή, η στροφορμή, κλπ.
- Τα διανυσματικά μεγέθη μπορούν να συντίθενται και να παράγουν ένα συνιστάμενο μέγεθος, ή η συνισταμένη να αναλύεται σε συνιστώσες (κανόνας παραλληλογράμμου).

# Διανυσματική ανάλυση εμβιομηχανικών μεγεθών



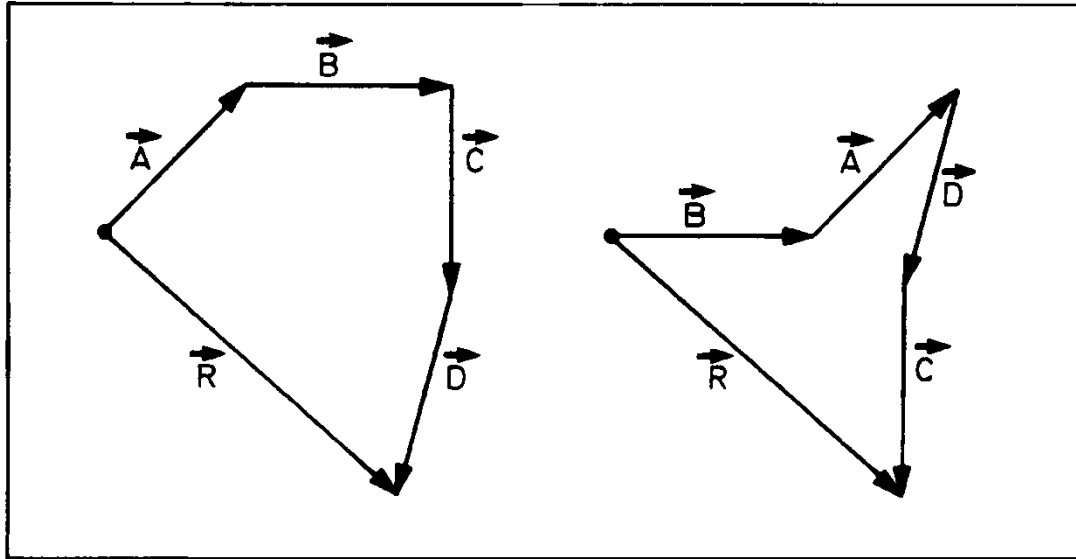
- Ως διανυσματικό μέγεθος, εδώ παίρνουμε την ταχύτητα  $V_0$  μιας σφαίρας στο κατακόρυφο επίπεδο βολής, τη στιγμή της απελευθέρωσης από το χέρι.
- Το μήκος του βέλους είναι η τιμή της ταχύτητας (m/sec).
- Η διεύθυνση της ταχύτητας δίνεται από τη γωνία  $\phi_0$  που σχηματίζει με το οριζόντιο επίπεδο.
- Το σημείο εφαρμογής δίνεται από το σημείο απελευθέρωσης.

# Πρόσθεση διανυσμάτων 1



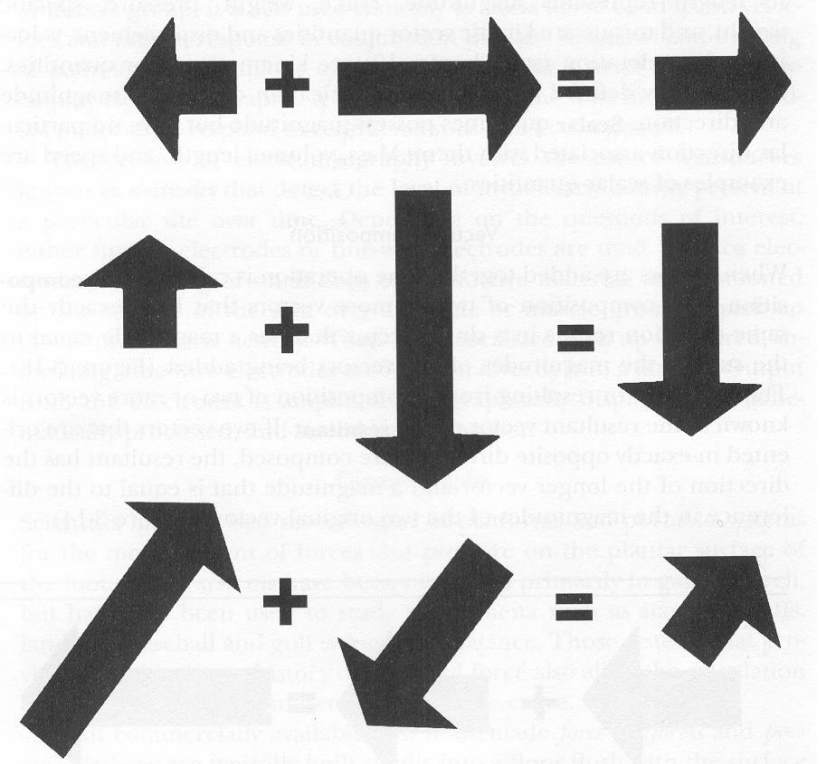
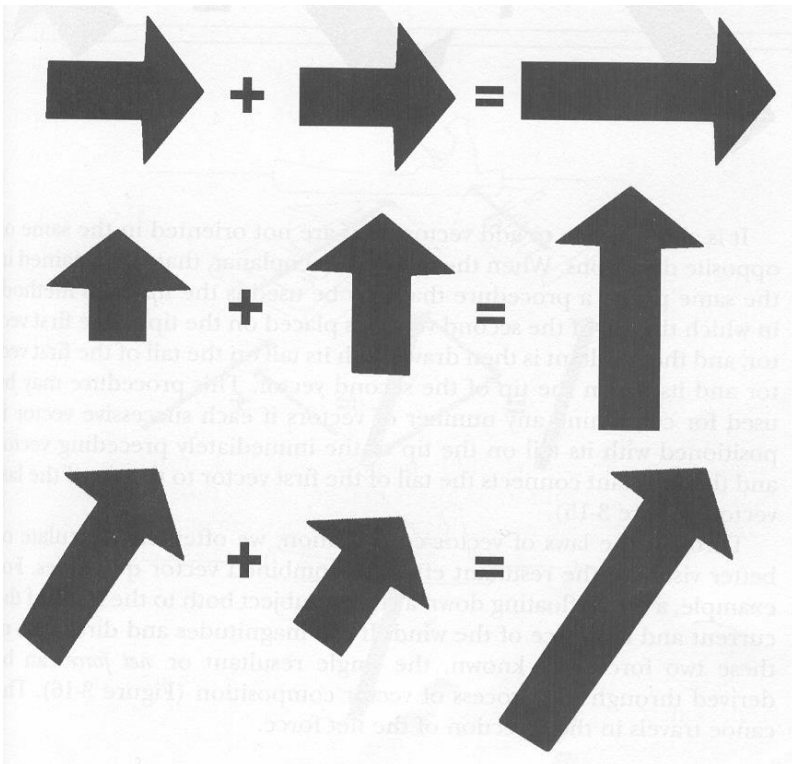
- Δεν προσθέτονται αριθμητικά αλλά γεωμετρικά.
- Τα διανύσματα διατηρούν τη διεύθυνσή τους, παρατάσσονται, στο τέλος του πρώτου τοποθετείται η αρχή του δεύτερου (αδιάφορο ποιο θα είναι πρώτο ή δεύτερο, αποτέλεσμα το ίδιο).
- Το συνιστάμενο διάνυσμα R έχει ως αρχή την αρχή του πρώτου και τέλος το τέλος του δεύτερου.

# Πρόσθεση διανυσμάτων 2

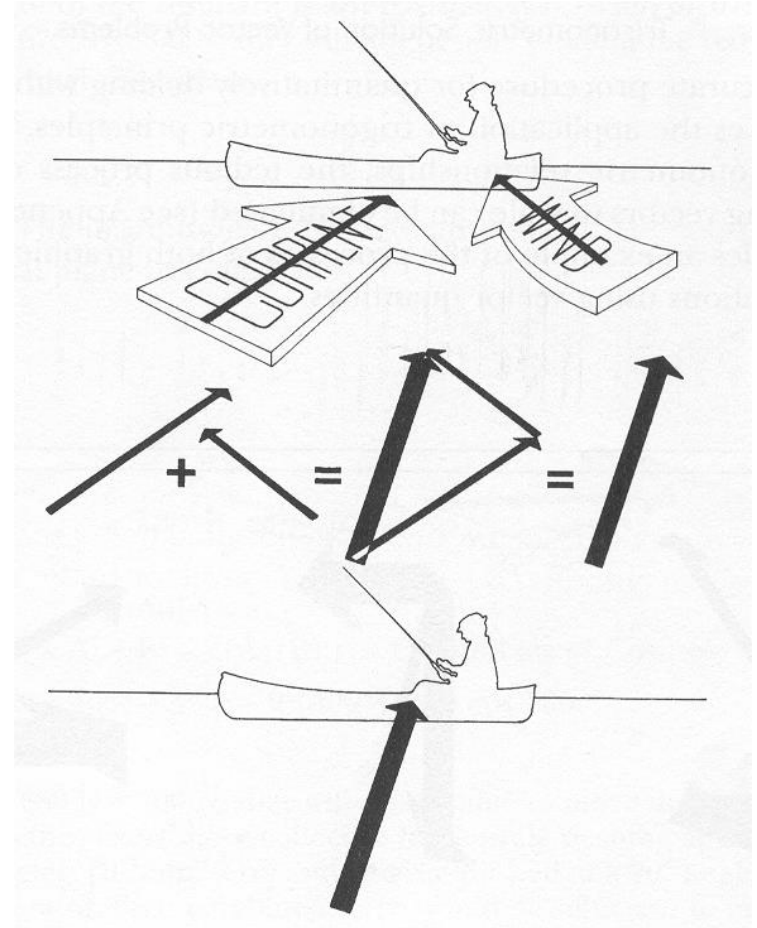
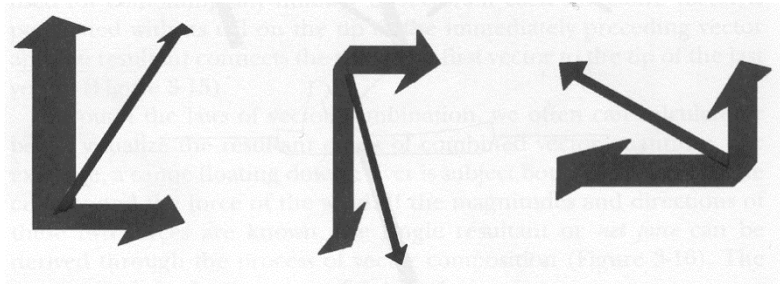
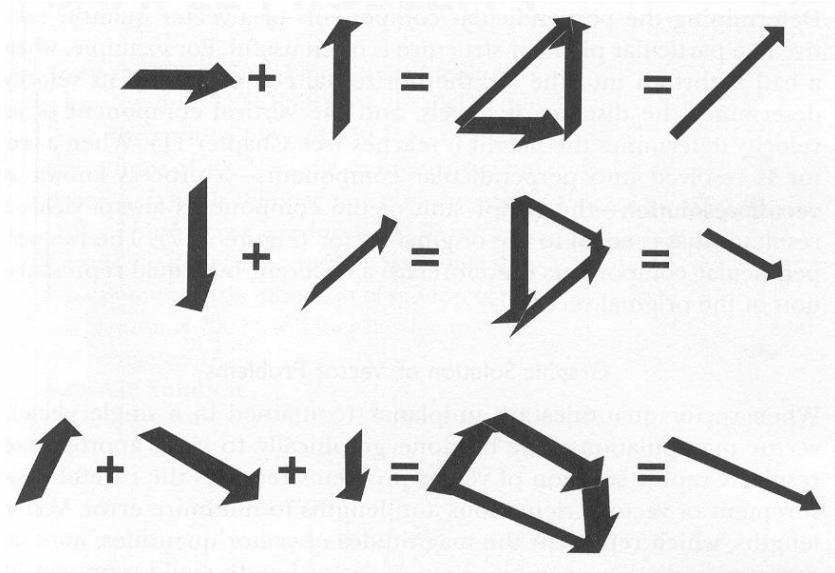


- Για την πρόσθεση περισσότερων των δύο διανυσμάτων τα παρατάσσουμε έτσι ώστε, διατηρώντας τη διεύθυνσή τους, το τέλος του πρώτου να συμπίπτει με την αρχή του δεύτερου, το τέλος του δεύτερου με την αρχή του τρίτου, κ.ο.κ. Το συνιστάμενο άνυσμα θα έχει αρχή την αρχή του πρώτου και τέλος το τέλος του τελευταίου.

# Πρόσθεση διανυσμάτων 3

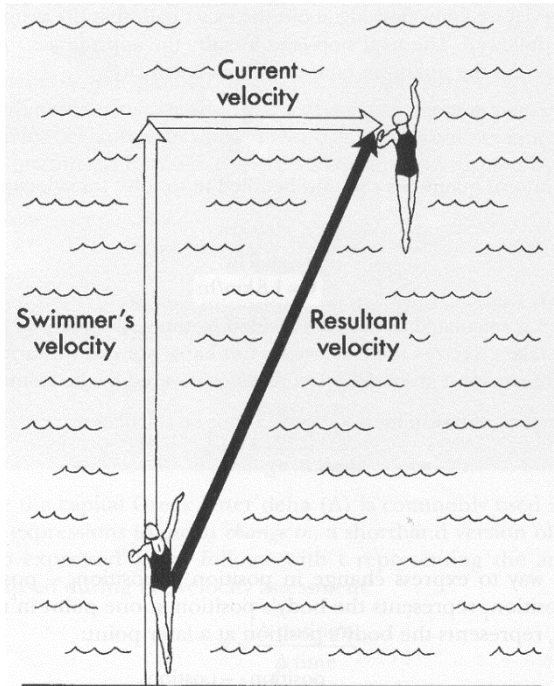
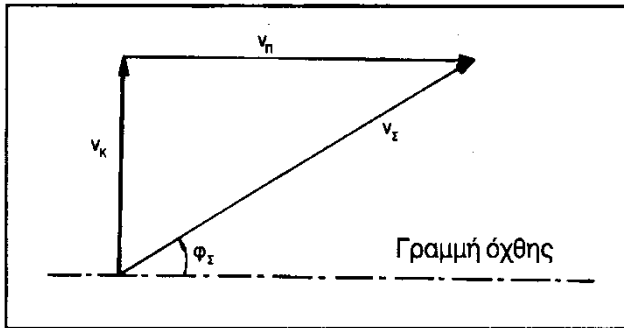


# Πρόσθεση διανυσμάτων 4





# Πρόσθεση διανυσμάτων 5

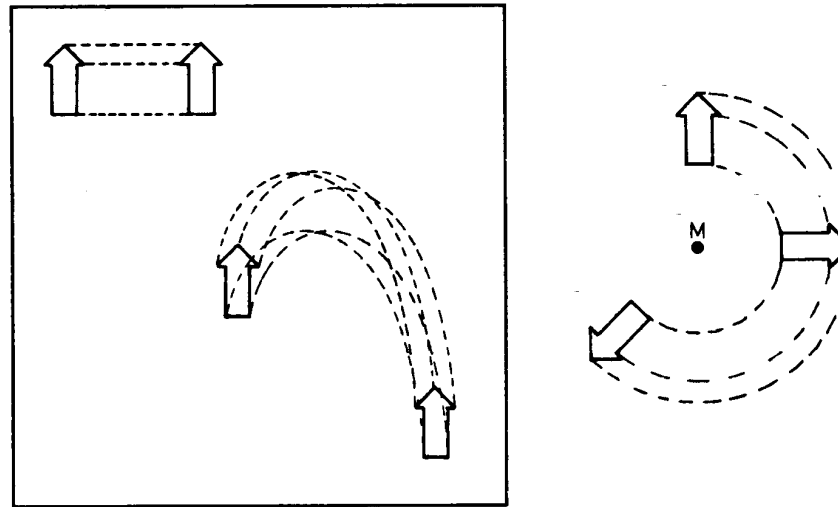


- Κολυμβητής διασχίζει το ποτάμι από τη μία όχθη ως την άλλη κάθετα στο ρεύμα.
- Στο πρώτο παράδειγμα η κάθετη ταχύτητα του κολυμβητή είναι  $V_k = 2$  m/sec και η ταχύτητα του ρεύματος  $V_{\pi} = 4$  m/sec.
- Η συνισταμένη ταχύτητα του κολυμβητή είναι  $V_{\Sigma} = (2^2 + 4^2)^{1/2} = (4 + 16)^{1/2} = 4,7$  m/sec.
- Στο δεύτερο παράδειγμα είναι  $V_k = 4$  m/sec και  $V_{\pi} = 2$  m/sec. Η συνισταμένη έχει το ίδιο μέτρο ( $V_{\Sigma} = 4,7$  m/sec), αλλά διαφορετική διεύθυνση.

# Κινηματική

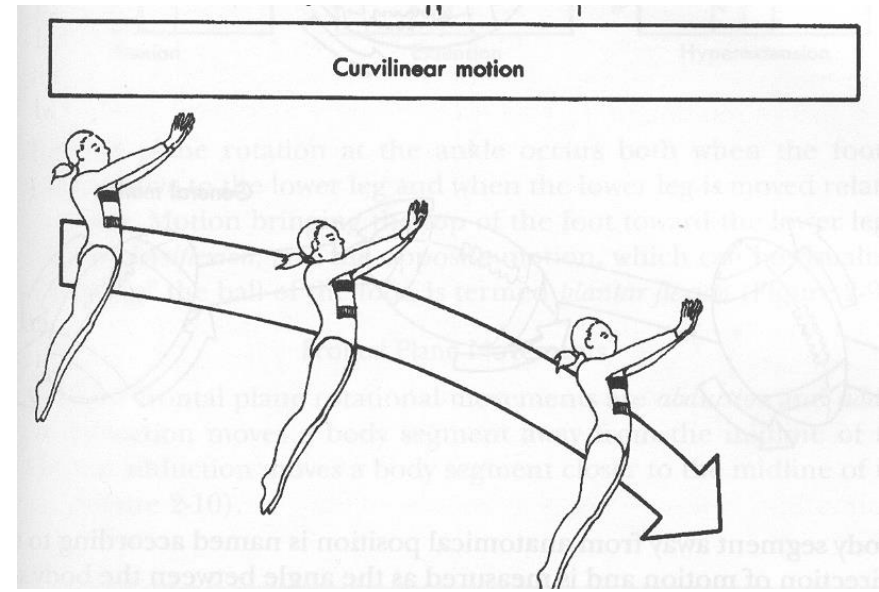
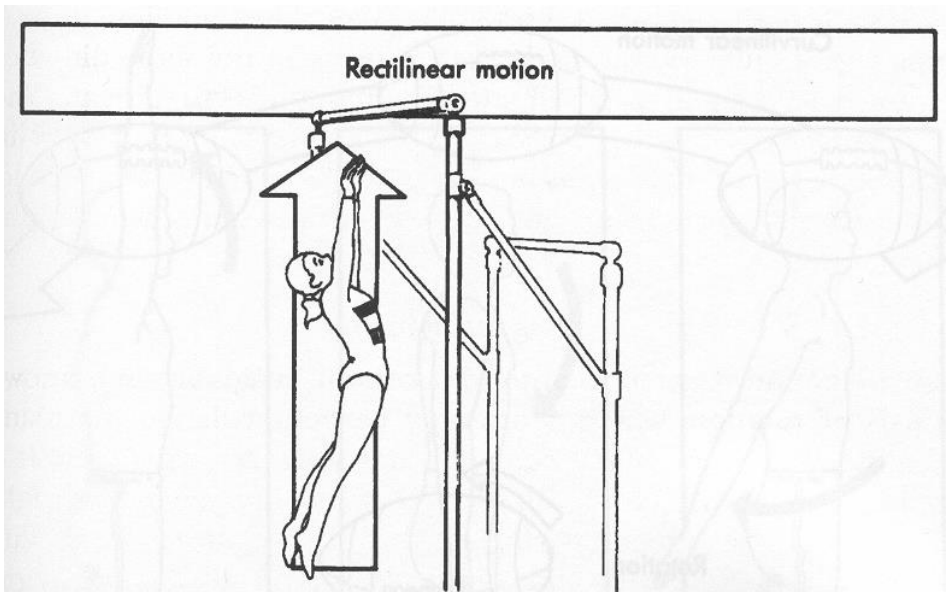
- Η κινηματική είναι ο κλάδος της μηχανικής που ασχολείται με την περιγραφή των χωρικών (του χώρου) και των χρονικών συνιστωσών της κίνησης.
- Μεταβλητές που εξετάζονται είναι η αλλαγή θέσης του κινητού (μετατόπιση), ο ρυθμός μεταβολής της θέσης του κινητού (ταχύτητα) και ο ρυθμός μεταβολής της ταχύτητας (επιτάχυνση), χωρίς να γίνεται αναφορά στις δυνάμεις που προκαλούν την κίνηση.
- Οι τρεις παραπάνω παράμετροι μπορεί να είναι γραμμικές (να βασίζονται στη μετατόπιση που μετριέται σε μέτρα ή υποδιαίρέσεις τους) ή να είναι γωνιακές (να βασίζονται στη μετατόπιση που μετριέται σε μοίρες ή ακτίνια και τις υποδιαίρέσεις τους). Είναι διανυσματικά μεγέθη με αρχή, μέτρο, διεύθυνση και φορά.

# Είδη κινήσεων

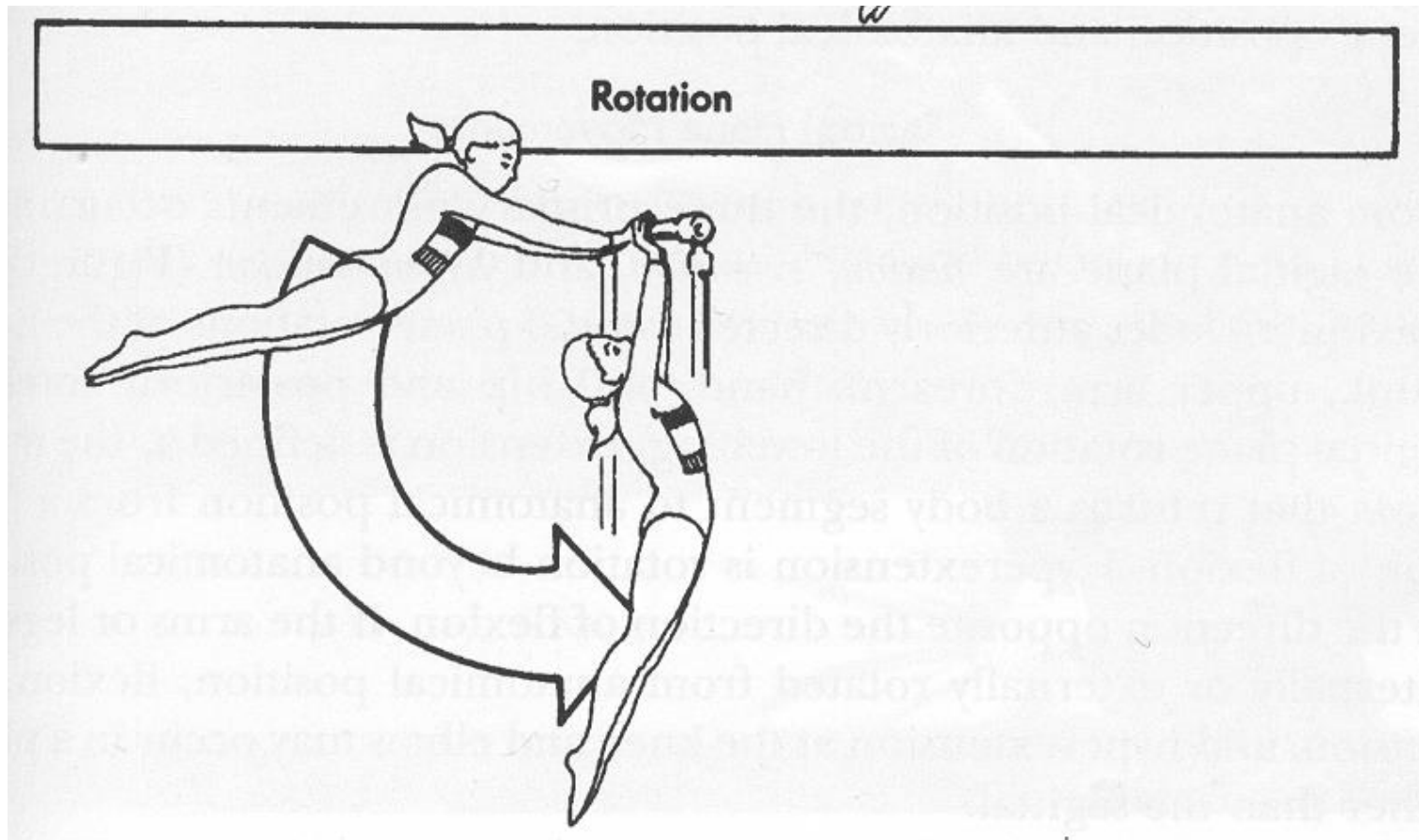


- Μεταφορική: όλα τα σημεία του σώματος διαγράφουν τις ίδιες, παράλληλα ή μία με την άλλη καμπύλες, δεν υπάρχει κάποια περιστροφή γύρω από τον άξονα του σώματος.
- Καμπύλη ή περιστροφική: όλα τα σημεία του σώματος διαγράφουν ομόκεντρους κύκλους γύρω από το σημείο περιστροφής. Το σημείο περιστροφής μπορεί να βρίσκεται τόσο εντός όσο και εκτός του σώματος.

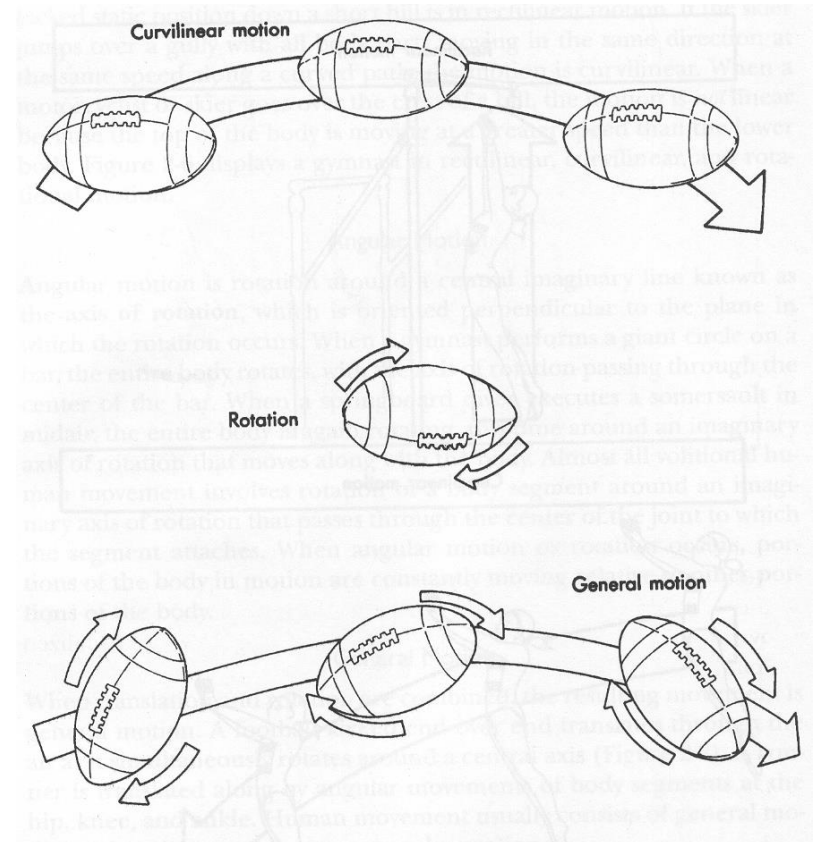
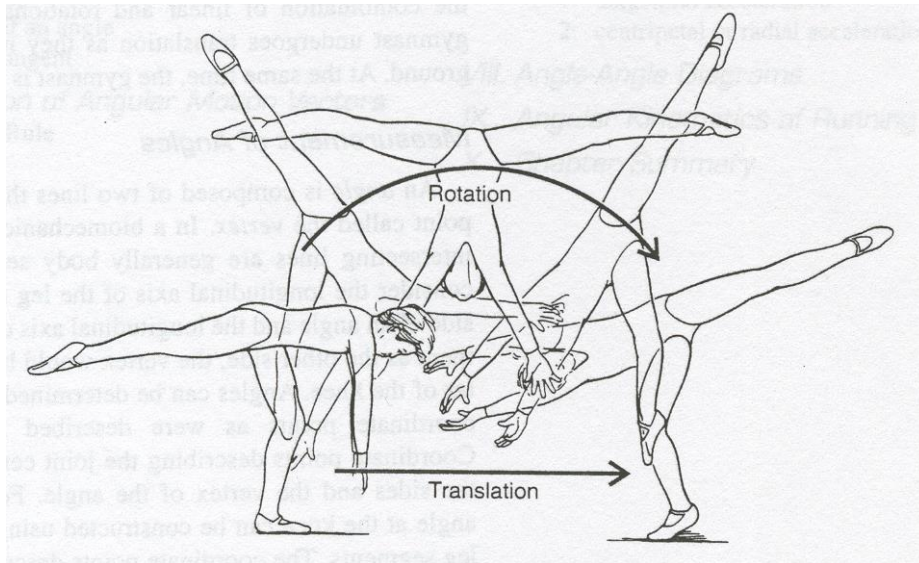
# Μεταφορική κίνηση



# Περιστροφική κίνηση



# Μεταφορική και περιστροφική κίνηση



# Θέση του κινητού – διανυόμενο διάστημα – μετατόπιση 1

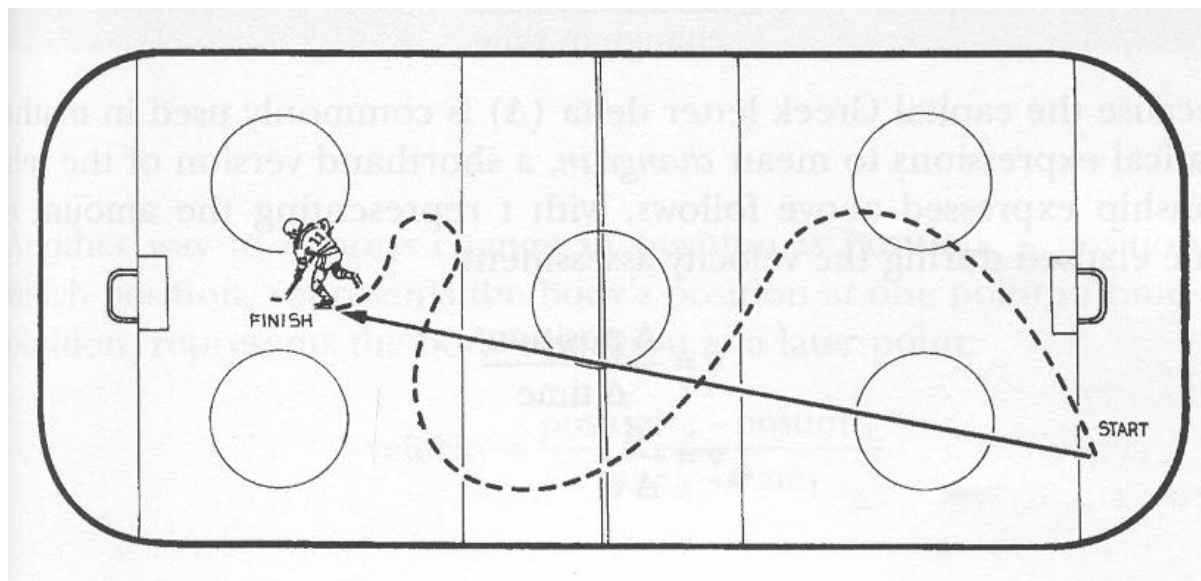
- Θέση ενός κινητού είναι η τοποθέτησή του στο χώρο σε σχέση με κάποιο σύστημα αναφοράς (σημεία και άξονες αναφοράς). Για παράδειγμα η θέση του αθλητή καταδύσεων στην αφετηρία, στη σανίδα 10 m ύψους (10 m απόσταση από την επιφάνεια του νερού, που είναι το επίπεδο αναφοράς).
- Όταν ο καταδύτης αφήσει τη σανίδα, επιτελείται κίνηση, καθώς αυτός ταξιδεύει διαμέσου του αέρα προς το νερό. Κίνηση συμβαίνει όταν ένα κινητό αλλάζει θέση. Η κίνηση δεν γίνεται στη στιγμή, αλλά απαιτείται κάποιος χρόνος για να συμβεί. Επομένως, κίνηση είναι η διαδοχική μεταβολή της θέσης μέσα σε μια χρονική περίοδο.

# Θέση του κινητού – διανυόμενο διάστημα – μετατόπιση 2

- Μετατόπιση είναι η ευθεία που ενώνει δύο διαδοχικές θέσεις ενός κινητού, και δεν πρέπει να τη συγχέουμε με τη διανυόμενη απόσταση ή διανυόμενο διάστημα, που είναι το μήκος της τροχιάς που διαγράφει ένα κινητό (η μετατόπιση είναι διανυσματικό μέγεθος, ενώ το διανυόμενο διάστημα μονόμετρο).



# Θέση του κινητού – διανυόμενο διάστημα – μετατόπιση 3



- Το διάστημα που διανύει ο αθλητής του χόκεϊ μπορεί να μετρηθεί από την τροχιά του πάνω στην παγοπίστα.
- Η μετατόπιση του ίδιου αθλητή είναι μια ευθεία γραμμή από την αρχική μέχρι την τελική του θέση.

# Ορισμός της ταχύτητας

- Ταχύτητα είναι το πηλίκο της διανυόμενης απόστασης δια του απαιτούμενου χρόνου.
- Στιγμιαία ταχύτητα είναι η ταχύτητα που παρατηρείται σε ένα συγκεκριμένο χρονικό σημείο (χρονική στιγμή).
- Μέση ταχύτητα είναι η ταχύτητα που προκύπτει από το μέσο όρο των ταχυτήτων σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

# Επιτάχυνση

- Επιτάχυνση: το πηλίκο της μεταβολής της ταχύτητας δια του διανυόμενου χρόνου.
- Επιτάχυνση έχουμε μόνο όταν μεταβάλλεται η ταχύτητα (όταν η ταχύτητα είναι σταθερή η επιτάχυνση είναι ίση με μηδέν).
- 
- $\alpha = \Delta v / \Delta t = (\text{m/sec}) / \text{sec} = \text{m} / \text{sec}^2$
- Η επιτάχυνση είναι το μέτρο της μεταβολής της ταχύτητας.
- Θετική επιτάχυνση = αύξηση της ταχύτητας
- Αρνητική επιτάχυνση = μείωση της ταχύτητας.

# Επιτάχυνση της βαρύτητας

- Αναφέρεται στο πεδίο βαρύτητας της γης.
- Επιδρά σε όλα τα σώματα, με κατεύθυνση το κέντρο της γης.
- Είναι σταθερή επιτάχυνση,  $g = 9,81 \text{ m/sec}^2$ .
- Ένα σώμα κατά τη διάρκεια της ελεύθερης πτώσης του, υπό την επίδραση της επιτάχυνσης της βαρύτητας, αυξάνει την ταχύτητά του κατά  $9,81 \text{ m}$  κάθε δευτερόλεπτο της πτώσης του.

# ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ

A) Ταχύτητα: 
$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}$$

B) Επιτάχυνση 
$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2}$$

Στην ομαλή κίνηση: 
$$s = v \cdot t$$

Στην επιταχυνόμενη κίνηση με θετική (+a) ή αρνητική (-a) επιτάχυνση

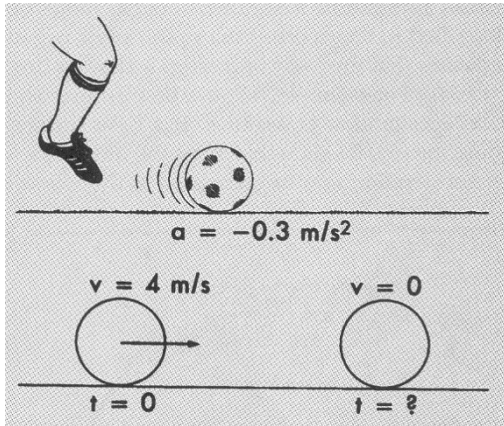
$$v = v_0 \pm a \cdot t$$

$$s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

Όταν η αρχική ταχύτητα  $v_0 = 0 \Rightarrow s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$

# Εφαρμογές

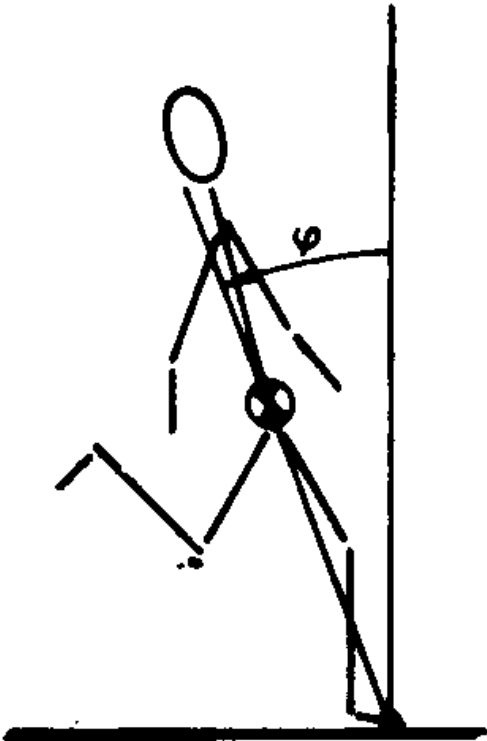
## Πότε θα σταματήσει η μπάλα;



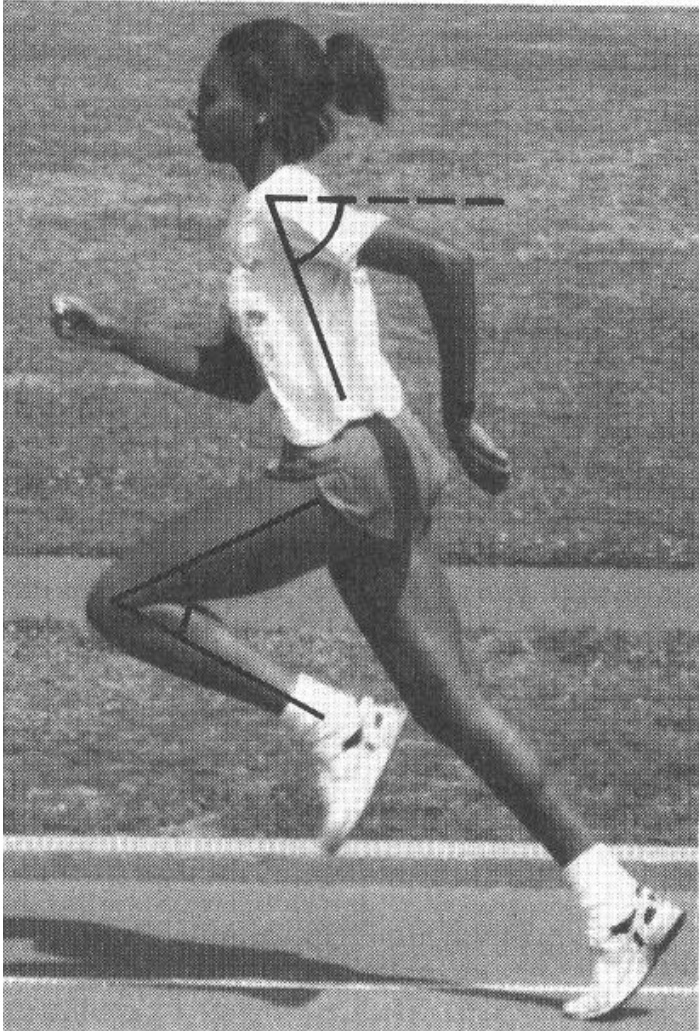
- Μια μπάλα του ποδοσφαίρου κυλάει στο χόρτο. Τη χρονική στιγμή  $t = 0$ , η μπάλα έχει στιγμιαία ταχύτητα  $V_1 = 4 \text{ m/s}$ . Λόγω της τριβής η μπάλα χάνει ταχύτητα και κάποια στιγμή θα σταματήσει. Αν η επιβράδυνσή της είναι σταθερή  $a = -0.3 \text{ m/s}^2$ , σε πόσο χρόνο η μπάλα θα σταματήσει;
- Απάντηση:
- Αν  $V_2 = 0$  η ταχύτητα που θα έχει η μπάλα όταν σταματήσει, έχουμε:
- $a = (V_2 - V_1)/t$ ,
- Οπότε λύνοντας ως προς  $t$ :
- $t = (V_2 - V_1)/a =$
- $(0 - 4 \text{ m/sec}) / -0.3 \text{ m/sec}^2 = 13.3 \text{ sec}$

# Περιστροφική κίνηση

- Είναι η κίνηση ενός σώματος που πραγματοποιείται γύρω από κάποιο σχετικά ακίνητο σημείο ή άξονα περιστροφής.
- Είναι οι κινήσεις όλου του σώματος (σάλτο, πιρουέτα) ή των μελών του (γύρω από τις αρθρώσεις).
- Ακτίνα περιστροφής είναι η απόσταση του περιστρεφόμενου σώματος από το σημείο γύρω από το οποίο περιστρέφεται, που ονομάζεται κέντρο περιστροφής.
- Απαιτείται ένα σύστημα αναφοράς, μια διεύθυνση αναφοράς, προς την οποία θα μετρηθεί η γωνία.
- Όταν ένα σώμα περιστρέφεται στο χώρο μπορούμε να επιλέξουμε την κατακόρυφη ή οριζόντια διεύθυνση αναφοράς.



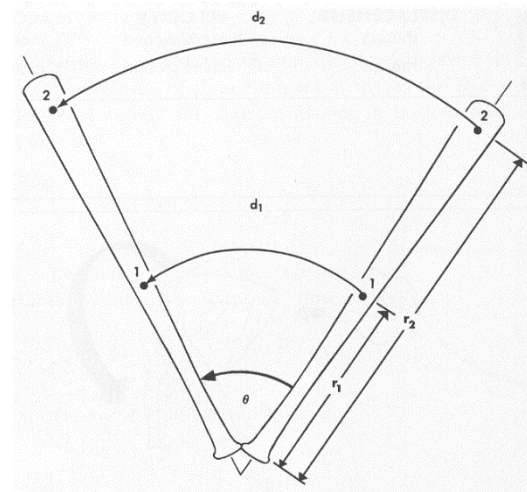
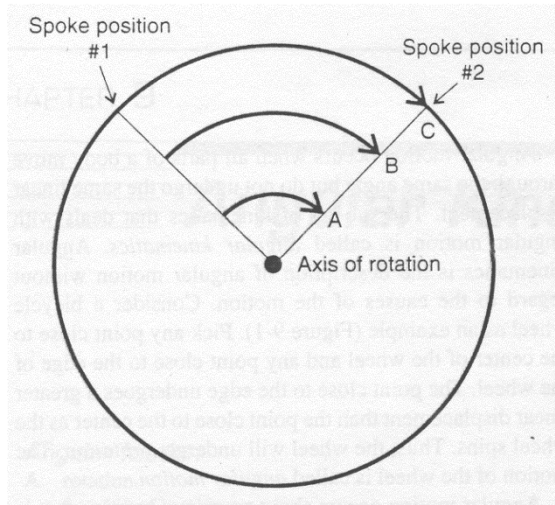
# Γωνιακή μετατόπιση 1



- Αν θέλουμε να υπολογίσουμε μια γωνία που σχηματίζουν δύο γειτονικά μέλη, ορίζουμε τη θέση του ενός μέλους ως διεύθυνση αναφοράς και υπολογίζουμε έτσι τη γωνιακή μετατόπιση του άλλου.
- Γωνιακή μετατόπιση είναι η γωνία που καλύπτει η ακτίνα περιστροφής ενός σώματος σε κάποια χρονική περίοδο  $t$  και μετριέται σε μοίρες (degrees ή deg) ή σε ακτίνια (radians ή rad). Είναι διανυσματικό μέγεθος ( $\phi, \theta, \alpha, \beta$ ).
- $1 \text{ rad} = 57,3 \text{ deg}$

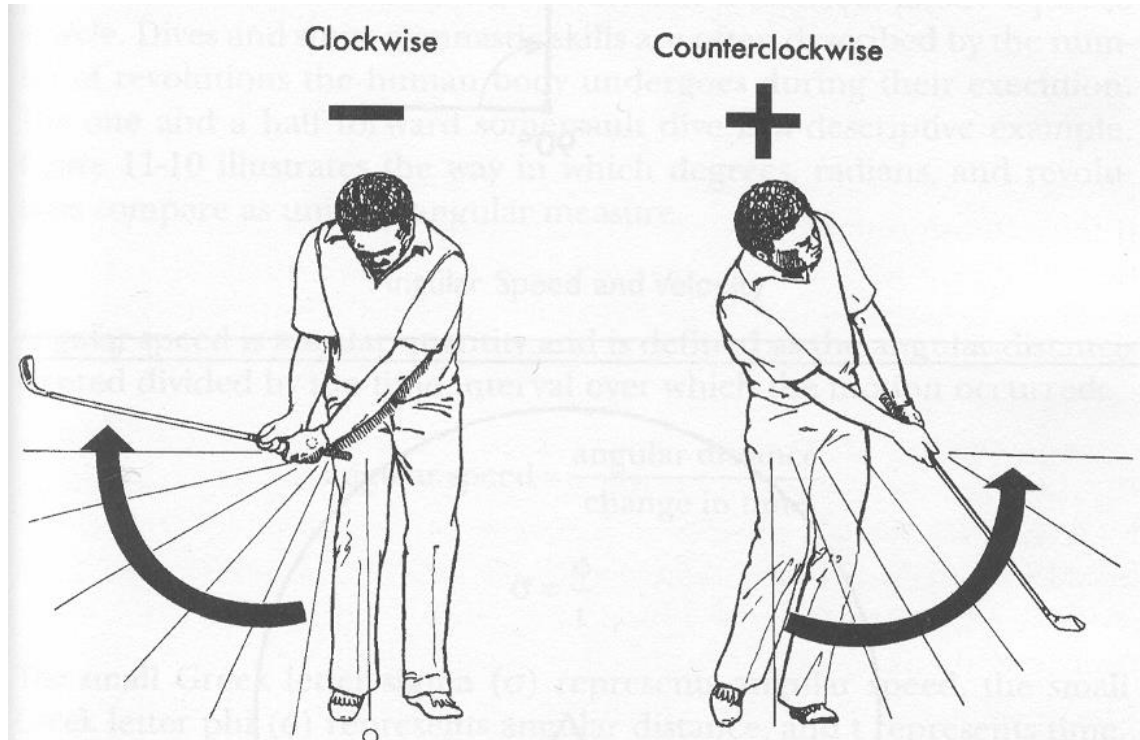


# Γωνιακή μετατόπιση 2



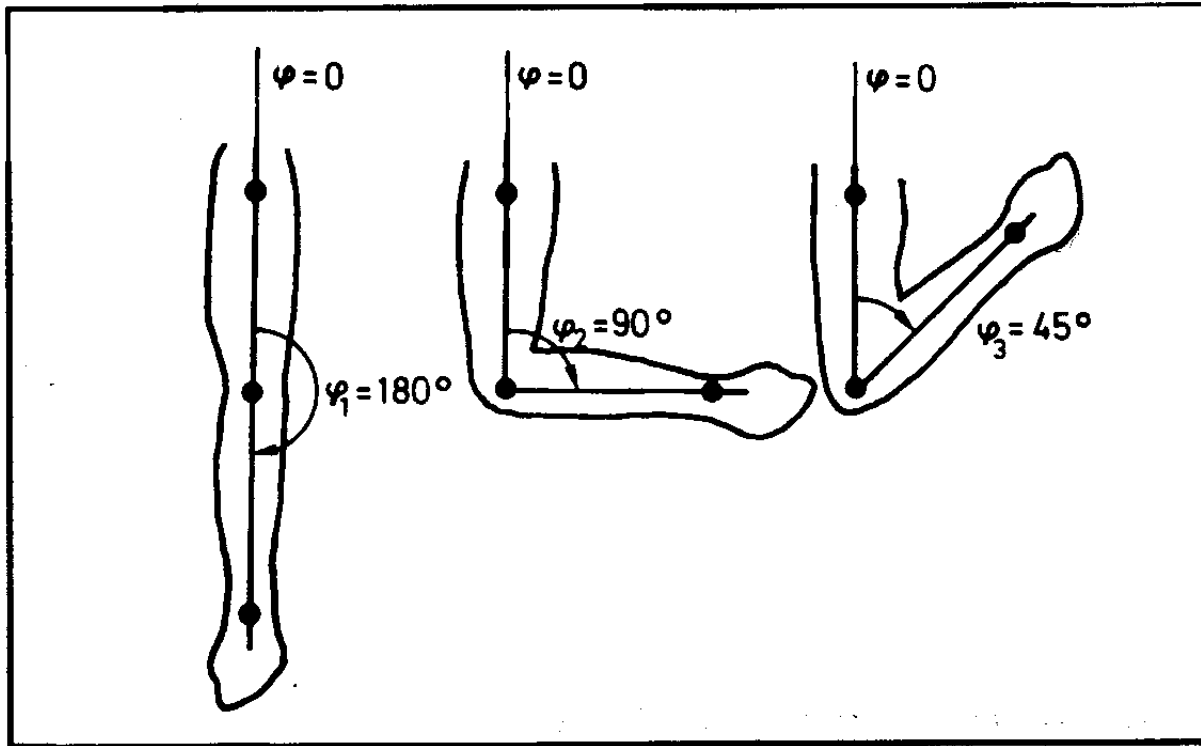
- Τα σημεία ενός περιστρεφόμενου σώματος μπορεί να έχουν την ίδια γωνιακή μετατόπιση, όμως η γραμμική μετατόπιση του καθενός (διαγραφόμενο τόξο) εξαρτάται από το μήκος της ακτίνας περιστροφής του. Όσο μεγαλύτερη η ακτίνα περιστροφής τόσο μεγαλύτερη η γραμμική μετατόπιση. Στις παραπάνω εικόνες τα σημεία C της ρόδας του ποδηλάτου και 2 του μπαστουνιού του μπέιζμπολ (μεγάλη ακτίνα περιστροφής) έχουν διαγράψει μεγαλύτερη γραμμική μετατόπιση από τα αντίστοιχα σημεία A και 2 (μικρή ακτίνα περιστροφής).

# Γωνιακή μετατόπιση 3



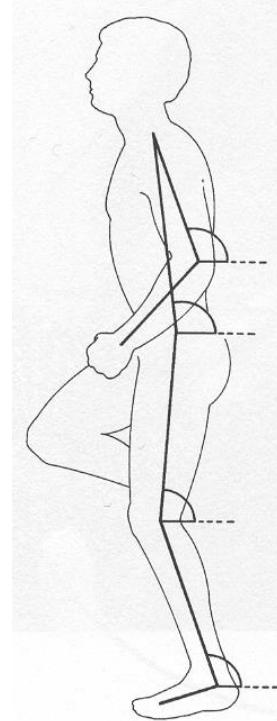
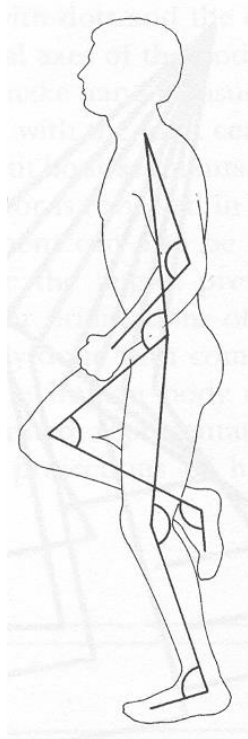
- Στην περίπτωση της γωνιακής μετατόπισης είναι απαραίτητο να ορίσουμε την κατεύθυνση περιστροφής. Ως θετική κατεύθυνση ορίζεται η αντίθετη της κίνησης των δειχτών του ωρολογιού και ως αρνητική εκείνη της περιστροφής των δειχτών του ωρολογιού.

# Γωνιακές μετατοπίσεις των μελών του σώματος 1



- Παρουσιάζονται τρεις διαφορετικές θέσεις του πήχη ως προς το βραχίονα, οι οποίες ορίζονται αριθμητικά με τη γωνία της άρθρωσης του αγκώνα.

# Γωνιακές μετατοπίσεις των μελών του σώματος 2

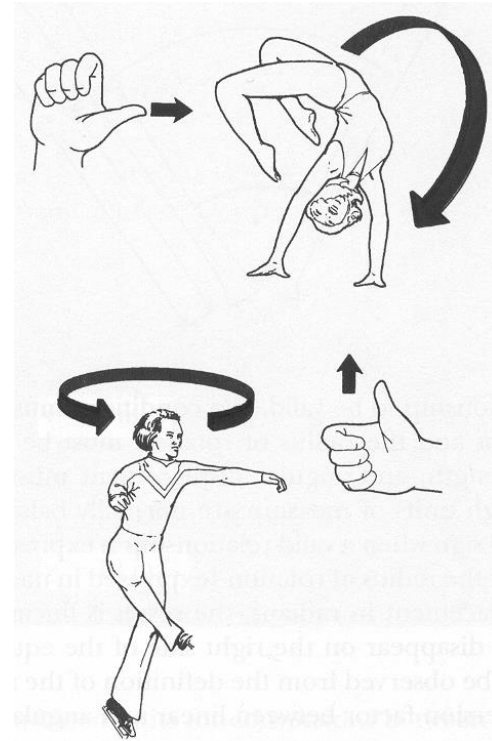
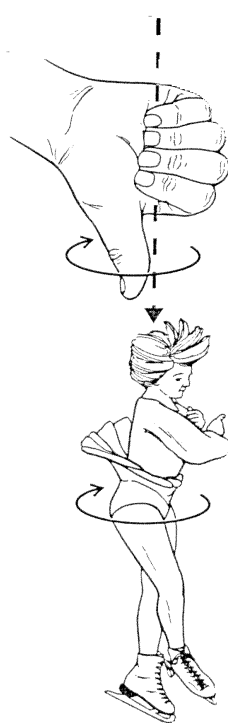


- Δύο τρόποι μέτρησης των γωνιών των μελών του σώματος υπάρχουν: οι σχετικές γωνίες (η γωνία που περιλαμβάνεται μεταξύ των επιμήκων αξόνων δύο μελών) και οι απόλυτες γωνίες (η γωνία κλίσης των μελών, ο προσανατολισμός τους στο χώρο).

# Γωνιακή ταχύτητα 1

- Είναι το πηλίκο της μεταβολής της γωνίας δια του απαιτούμενου χρόνου.
- Έχουμε :  $\omega = \phi / t = \text{rad} / \text{sec}$
- Στη σταθερή γωνιακή ταχύτητα σε ίσους χρόνους διανύονται ίσες γωνιακές μετατοπίσεις.
- Στη μεταβαλλόμενη γωνιακή ταχύτητα διακρίνουμε τη μέση και τη στιγμιαία γωνιακή ταχύτητα.
- Η μέση είναι ίση με  $\Delta\phi / \Delta t$  για ένα χρονικό διάστημα  $\Delta t$ .
- Όταν το  $\Delta t$  τείνει στο μηδέν μιλούμε για στιγμιαία γωνιακή ταχύτητα.

# Γωνιακή ταχύτητα 2

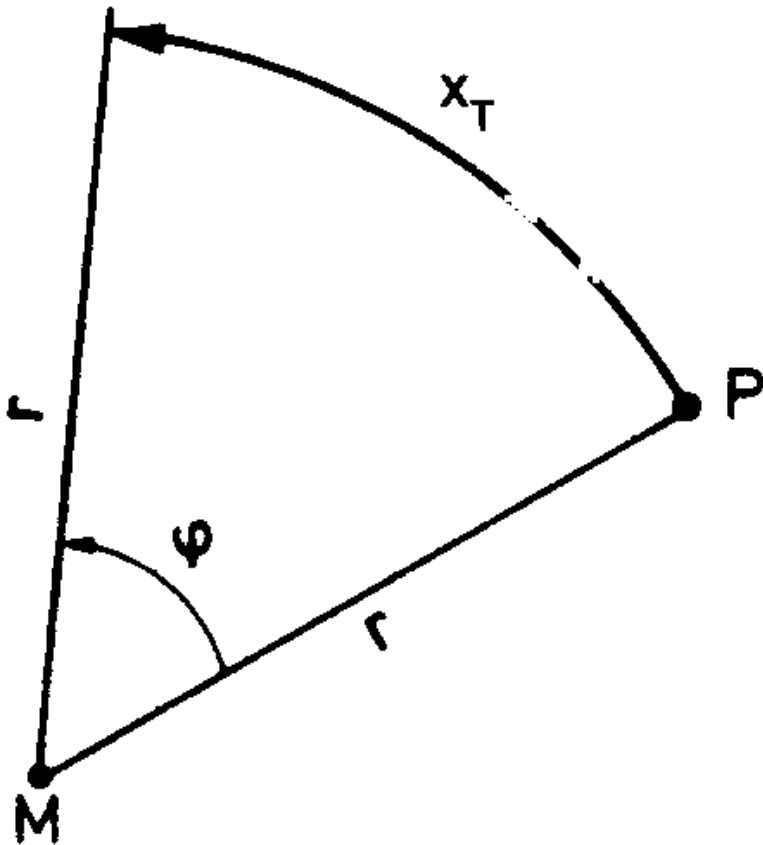


- Ο κανόνας του δεξιού χεριού χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του προσήμου της γωνιακής ταχύτητας.
- Το διάνυσμα της γωνιακής ταχύτητας είναι κάθετο στο επίπεδο περιστροφής.

# Συχνότητα και περίοδος περιστροφής

- Στην περιστροφική κίνηση ο χρόνος που χρειάζεται ένα κινητό για να διαγράψει μια ολόκληρη περιστροφή ( $360^{\circ}$  ή  $6,28\text{rad}$ ) λέγεται περίοδος και συμβολίζεται με  $T$ . Αν ο χρόνος μιας περιστροφής απαιτεί  $5 \text{ sec}$ , η κίνηση έχει περίοδο  $T = 5 \text{ sec}$ .
- Συχνότητα ( $\nu$ ) της κίνησης είναι ο αριθμός των περιστροφών που γίνονται σε ένα δευτερόλεπτο.
- Έτσι  $\nu = 1 / T = 1 / 5 = 0,2 \text{ Hz}$  ( $0,2$  κύκλοι το δευτερόλεπτο).
- Επίσης  $\omega = 2\pi / T = 2\pi \nu$

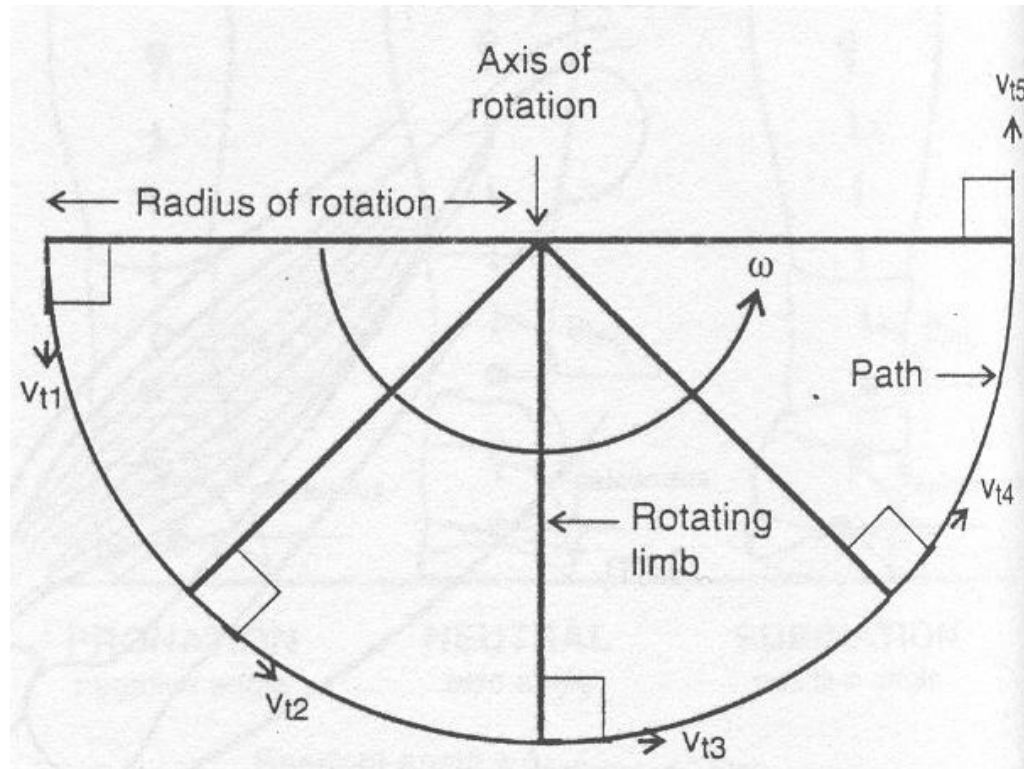
# Σχέση γωνιακών και γραμμικών μεγεθών



- Γραμμική, επιτόχια ή περιμετρική ταχύτητα U είναι η ταχύτητα ενός σημείου του σώματος που βρίσκεται σε κυκλική τροχιά και έχει ακτίνα περιστροφής r. Στην περιστροφή του το σημείο P διαγράφει πάνω στην κυκλική τροχιά απόσταση  $x_T$ .
- $x_T = \phi \cdot r$
- $U_T = \omega \cdot r$
- $U_T = \omega \cdot r = 2\pi r / T = 2\pi r \nu$



# Γραμμική ή επιτρόχια ταχύτητα

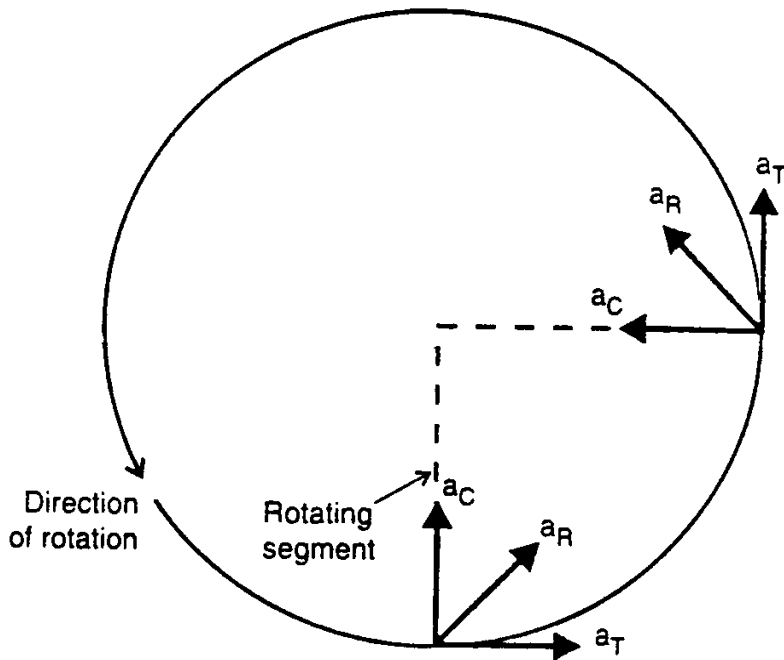


- Παρουσιάζεται η επιτρόχια ταχύτητα περιστρεφόμενου μέλους σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.
- Η επιτρόχια ταχύτητα είναι κάθετη στην ακτίνα περιστροφής.

# Γωνιακή επιτάχυνση

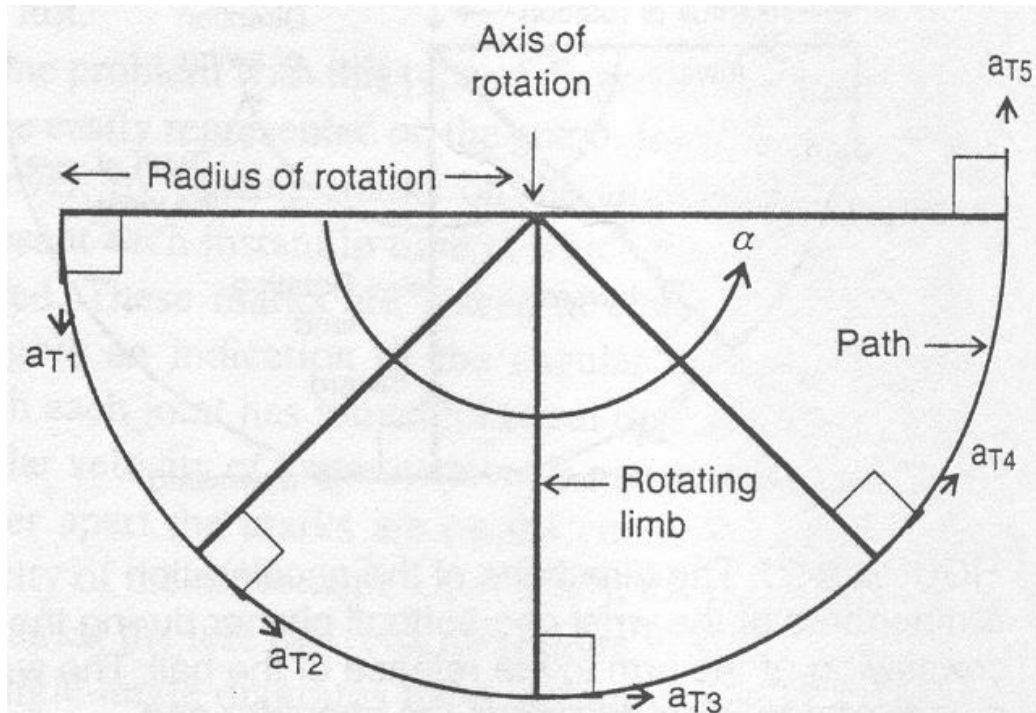
- Είναι το πηλίκο της μεταβολής της γωνιακής ταχύτητας δια του απαιτούμενου χρόνου ( $\alpha = \Delta\omega/\Delta t$ ).
- Είναι η δεύτερη χρονοπαράγωγος της γωνιακής μετατόπισης.
- Συμβολίζεται με  $\alpha$  και μετριέται σε deg / sec<sup>2</sup> ή σε rad / sec<sup>2</sup>.
- Διακρίνουμε τη μέση και τη στιγμιαία γωνιακή επιτάχυνση.

# Γωνιακή μετατόπιση – ταχύτητα - επιτάχυνση



- Η γραμμική επιτάχυνση στην περιστροφική κίνηση έχει δύο συνιστώσες κάθετες μεταξύ τους:
- Η επιτρόχια επιτάχυνση ( $\underline{a_T}$ ) είναι εφαπτόμενη στον κύκλο.
- Η κεντρομόλος επιτάχυνση ( $\underline{a_C}$ ) είναι κάθετη στην  $a_T$  και έλκει το κινητό προς το κέντρο του κύκλου.
- $\underline{a_T} = a \cdot r$
- $\underline{a_C} = U^2 / r = \omega^2 \cdot r = 4 \pi^2 r / T^2 = 4 \pi^2 v^2 r$
- Η συνισταμένη είναι :  
$$a_R = (a_T^2 + a_C^2)^{1/2}$$

# Επιτρόχια επιτάχυνση

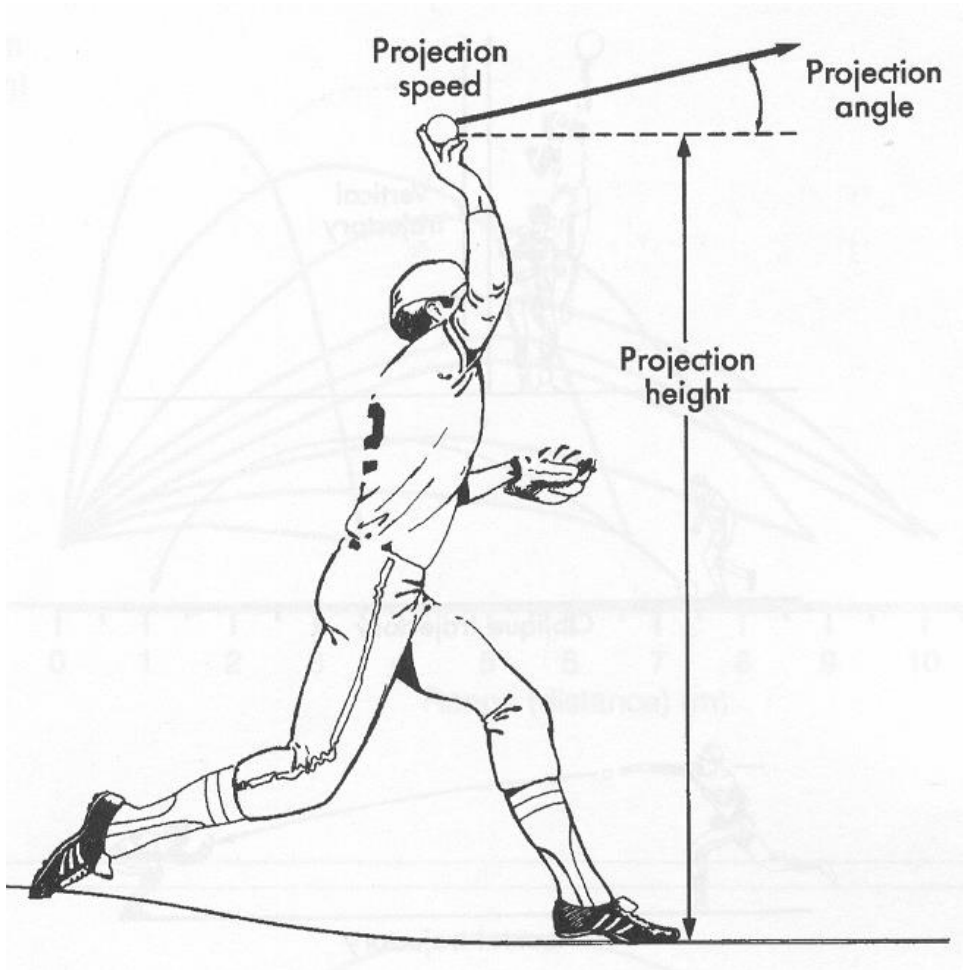


- Παρουσιάζεται η επιτρόχια επιτάχυνση ενός περιστρεφόμενου μέλους.
- Αυτή σε κάθε χρονική στιγμή είναι κάθετη προς το αιωρούμενο μέλος

# Εισαγωγή στη βλητική

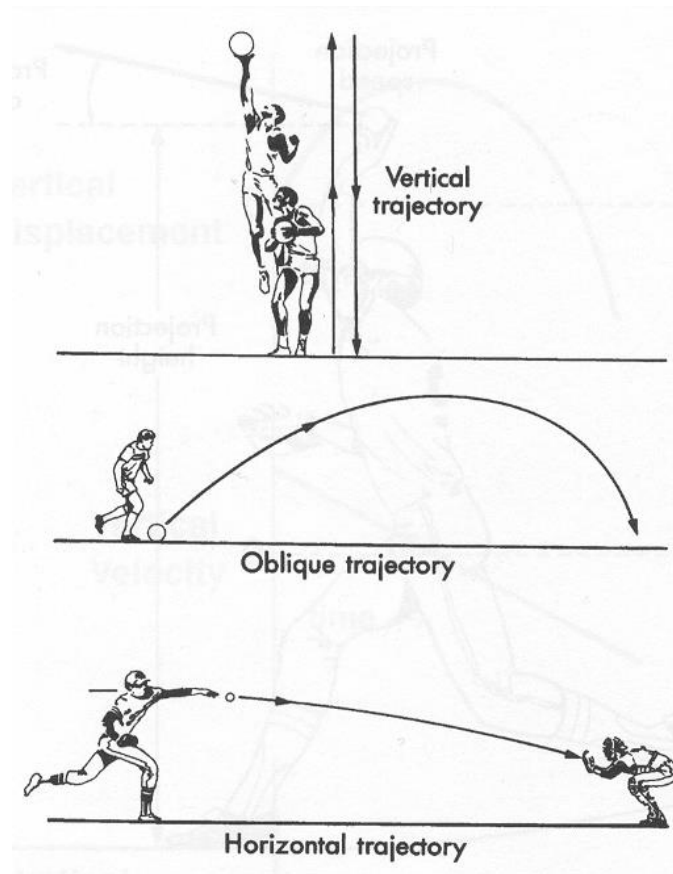
- Βλητική είναι ο κλάδος της μηχανικής που εξετάζει τους παράγοντες των σωμάτων που βρίσκονται σε πτήση.
- Η βλητική εξετάζει πολλές από τις αθλητικές κινήσεις (άλματα, ρίψεις, δρόμοι, καταδύσεις, ποδόσφαιρο, μπίιζμπολ, γκολφ, μπάσκετ, κ.α.).
- *Οι παράγοντες που εξετάζονται σε αυτή την κατηγορία αθλητικών κινήσεων είναι:*
  - Οι παράγοντες που προκάλεσαν την πτήση (αρχική ταχύτητα, γωνία απογείωσης ή απελευθέρωσης, σχετικό ύψος απελευθέρωσης).
  - Η επιτάχυνση της βαρύτητας (που έλκει το σώμα προς το κέντρο της γης σε όλη τη διάρκεια της πτήσης).
  - Η αεροδυναμική αντίσταση (που άλλοτε επιβραδύνει και άλλοτε επιταχύνει ή υποβοηθά την κίνηση).
- Στην προσπάθειά τους για καλύτερες επιδόσεις οι αθλητές πρέπει να εκμεταλλεύονται θετικά αυτούς τους παράγοντες ή να μειώνουν την αρνητική τους επίδραση.

# Εισαγωγή 2



- Οι παράγοντες που επηρεάζουν την πτήση
- Ταχύτητα απελευθέρωσης
- γωνία απογείωσης ή απελευθέρωσης
- σχετικό ύψος απελευθέρωσης

# Εισαγωγή 3



Η επίδραση της γωνίας απελευθέρωσης – απογείωσης στην τροχιά της πτήσης

# Ελεύθερη πτώση 1

- Όταν ένα σώμα λόγω του βαρυτικού πεδίου πέφτει προς τα κάτω, χωρίς την αντίσταση του αέρα, υπόκειται μόνο στην επιτάχυνση της βαρύτητας και εκτελεί ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση.
- Υπολογίζουμε :
- την ταχύτητα  $V$  από το χρόνο  $\underline{t}$
- την ταχύτητα  $V$  από το ύψος πτώσης  $\underline{h}$
- την απόσταση πτώσης  $h$  από τη διάρκεια πτώσης  $\underline{t}$



# Ελεύθερη πτώση 2

- Υπό την επίδραση της σταθερής επιτάχυνσης  $g$  το σώμα μετά από παρέλευση χρόνου πτώσης  $t$  αποκτά ταχύτητα :
- $V = g \cdot t$
- Μετά από χρόνο  $t$  διανύει απόσταση πτώσης :
- $h = 1/2 g \cdot t^2$
- Μετά από απόσταση πτώσης  $h$  αποκτά ταχύτητα:
- $V = (2 \cdot g \cdot h)^{1/2}$
- Για τη διάνυση της απόστασης  $h$  απαιτείται χρόνος:
- $t = (2 h / g)^{1/2}$

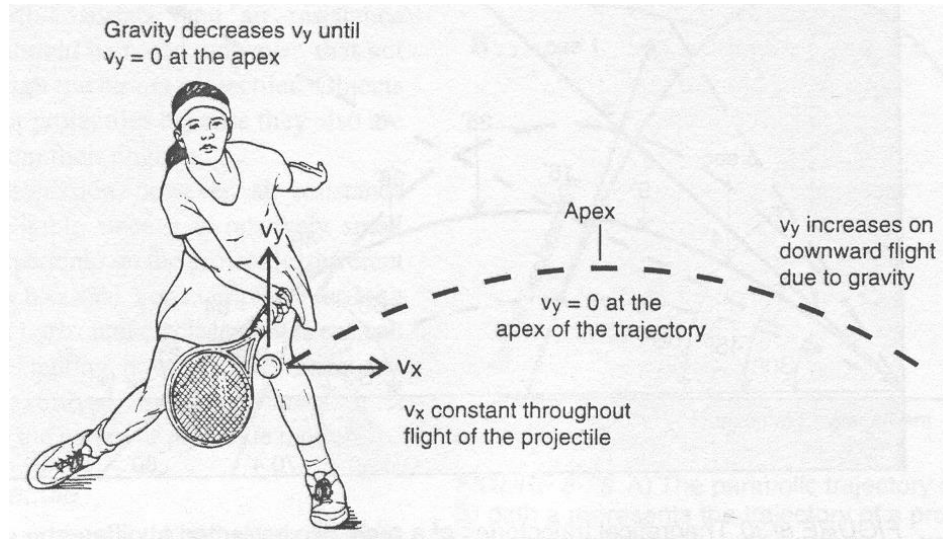
# Κατακόρυφη βολή προς τα πάνω 1

- Ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση ( - g ).
- Απογείωση με αρχική θετική ταχύτητα  $V_0$ .
- Βαθμιαία ελάττωση της ταχύτητας (λόγω -g) μέχρι το μηδενισμό της στο μέγιστο ύψος πτήσης (  $h_{\max}$  ).
- Μετά το  $h_{\max}$  ακολουθεί κίνηση ελεύθερης πτώσης.
- Μετά από χρόνο  $t$  διανύει απόσταση :
- $h = V_0 \cdot t - 1 / 2 g \cdot t^2$  (1)
- και πετυχαίνει ταχύτητα :
- $V = V_0 - g \cdot t$  (2)

# Κατακόρυφη βολή προς τα πάνω 2

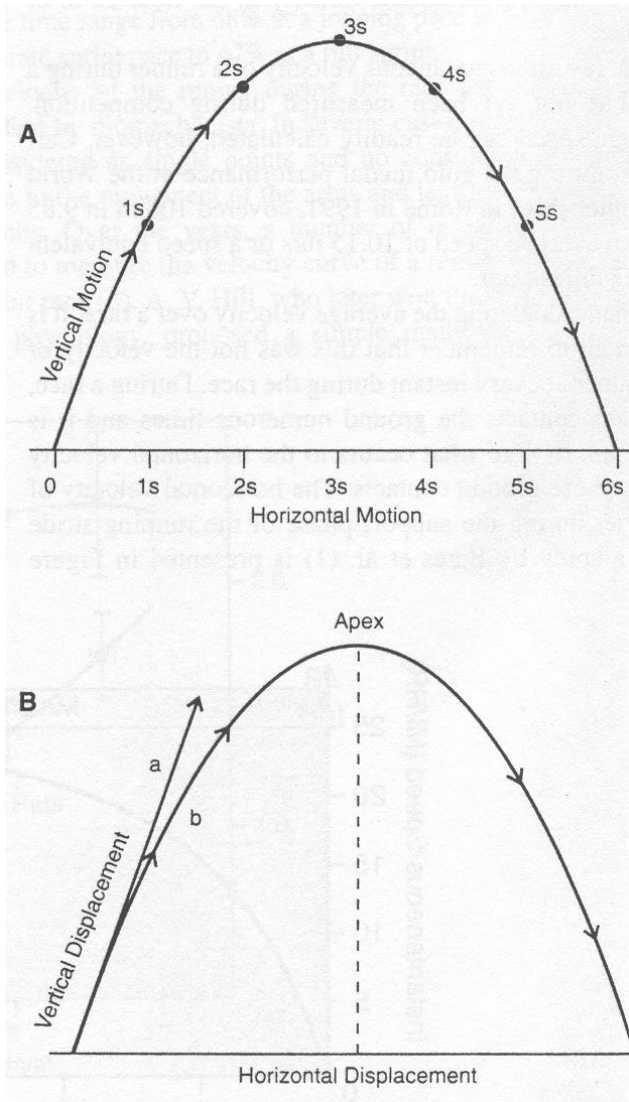
- Στο  $h_{\max}$  η  $V = 0$  και συνεπώς η ( 2 ) γίνεται :
- $0 = V_0 - g \cdot t \Rightarrow g \cdot t = V_0 \Rightarrow t_{\max} = V_0 / g$  (3).
- Αυτός είναι ο χρόνος για να φτάσει το κινητό στο  $h_{\max}$ .
- Η (1) διαμορφώνεται :
- $h_{\max} = V_0 \cdot (V_0 / g) - [ 1/2 \cdot g \cdot (V_0 / g)^2 ] = V_0^2 / g -$   
 $- [ 1/2 \cdot g \cdot (V_0^2 / g^2) ] = (V_0^2 / g) - [ 1/2 \cdot (V_0^2 / g) ] \Rightarrow$
- $h_{\max} = V_0^2 / 2g$ .
- Ο χρόνος ανάβασης είναι ίσος με το χρόνο κατάβασης και συνεπώς ο χρόνος πτήσης :
- $t_{\text{πτ}} = 2V_0 / g$

# Πλάγια βολή 1



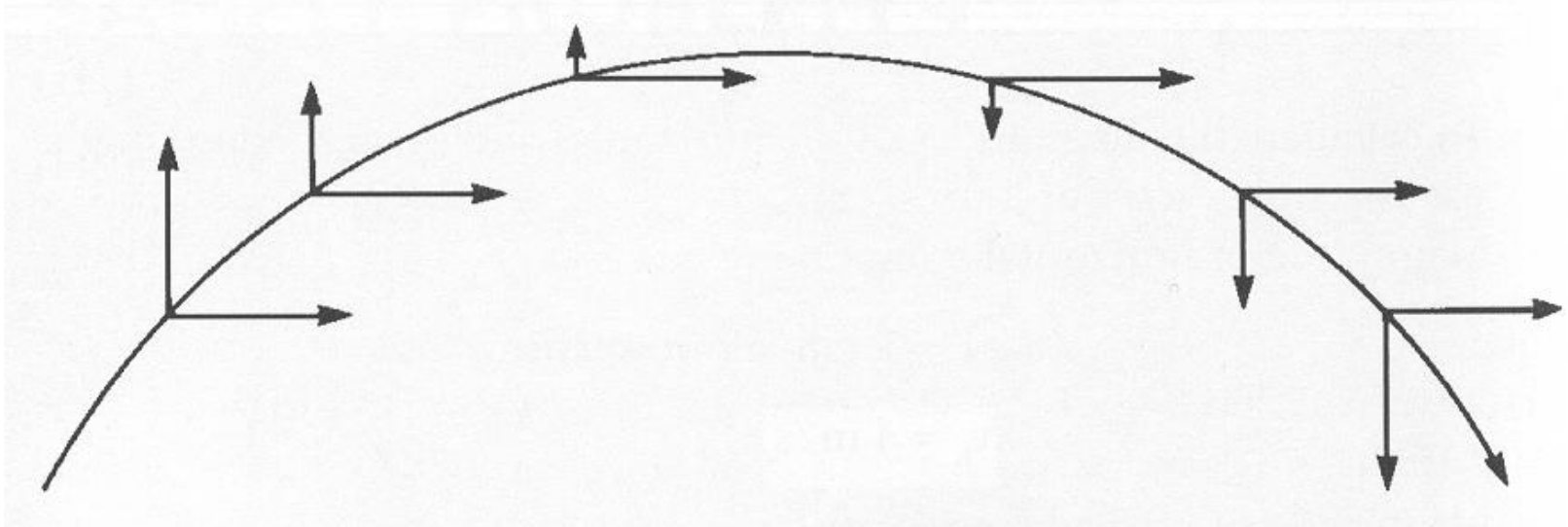
- Η κίνηση είναι σύνθετη και διεξάγεται στην οριζόντια και στην κατακόρυφη συνιστώσα.
- Η οριζόντια κίνηση είναι ομαλή κίνηση με σταθερή ταχύτητα.
- Η κατακόρυφη κίνηση είναι ομαλά επιταχυνόμενη ( $-g$ )
- Η τροχιά της κίνησης είναι παραβολική και η απόσταση που θα διανύσει το κινητό (βεληνεκές) εξαρτάται από :
- α) την ταχύτητα απογείωσης
- β) την γωνία απογείωσης
- γ) την υψομετρική διαφορά μεταξύ απογείωσης και προσγείωσης<sub>60</sub>

# Πλάγια βολή 2



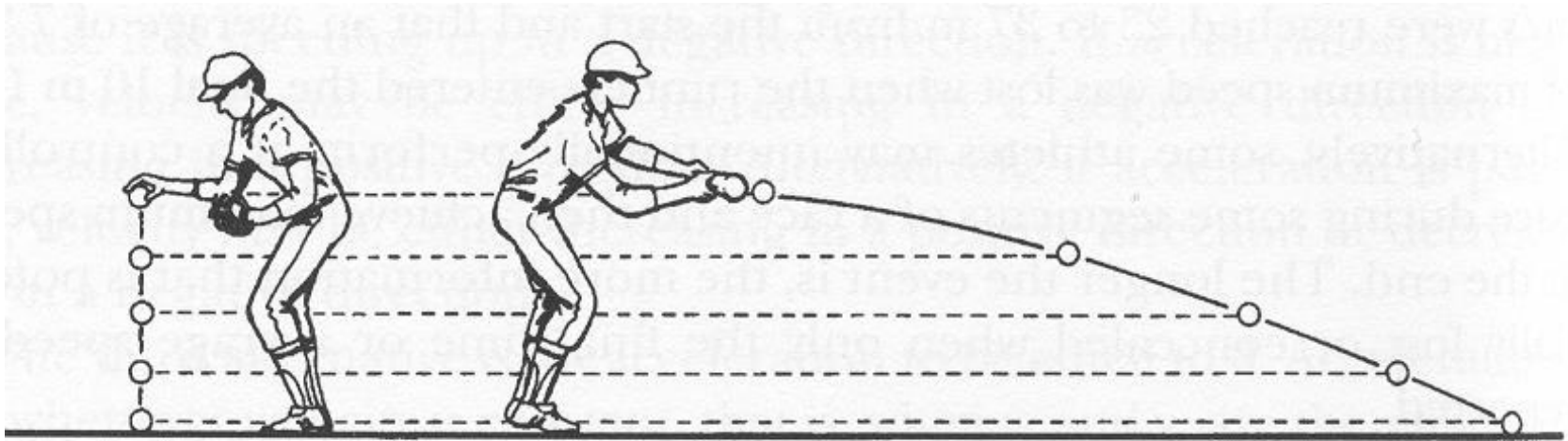
- A) Η παραβολική τροχιά στην πλάγια βολή
- B) Η πορεία α αντιπροσωπεύει την τροχιά της πτήσης που θα ακολουθούσε το κινητό αν δεν υπήρχε η επίδραση της βαρύτητας.
- Η πορεία b αντιπροσωπεύει την τροχιά (η πραγματική) με την επίδραση της βαρύτητας. Πρόκειται για μια παραβολική τροχιά.

# Πλάγια βολή 3



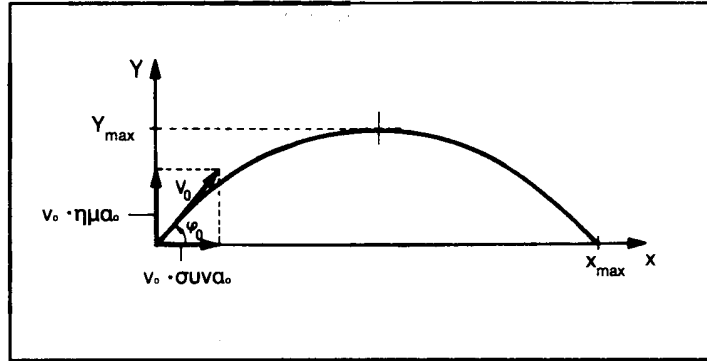
- Παρουσιάζονται η οριζόντια και η κατακόρυφη συνιστώσα της ταχύτητας πτήσης.
- Η οριζόντια ταχύτητα είναι σταθερή, ενώ η κατακόρυφη ταχύτητα είναι σταθερά μεταβαλλόμενη (μειούμενη λόγω της  $-g$ ).

# Πλάγια βολή 4



- Η μπάλα που ρίχνεται οριζόντια (πλάγια βολή) έχει την ίδια κατακόρυφη ταχύτητα με τη μπάλα που αφήνεται να πέσει προς τα κάτω χωρίς οριζόντια ταχύτητα (ελεύθερη πτήση).

# Πλάγια βολή 5



- Η ταχύτητα απογείωσης σχηματίζει με την οριζόντια γραμμή γωνία  $\phi_0$
- $V_{ορ} = V_0 \cdot \sigma\upsilon\nu\phi_0$        $V_{κ\alpha\tau} = V_0 \cdot \eta\mu\phi_0$
- Η κίνηση χωρίζεται σε δύο ανεξάρτητες κινήσεις οριζόντια ( X ) και κατακόρυφη ( Y ).
- Για ένα τυχαίο σημείο της καμπύλης ισχύουν :
- $X = V_0 \cdot t \cdot \sigma\upsilon\nu\phi_0$  και  $Y = V_0 \cdot t \cdot \eta\mu\phi_0 - 1/2 g \cdot t^2$
- Η σχέση X και Y είναι συνάρτηση παραβολής :
- $Y = X \cdot \epsilon\phi\phi_0 - [ g / ( 2 \cdot V_0^2 \cdot \sigma\upsilon\nu^2\phi_0 ) ] \cdot X^2$
- Μέγιστο ύψος :  $Y_{\max} = (V_0^2 \cdot \eta\mu^2\phi_0) / 2g$
- Μέγιστο μήκος :  $X_{\max} = (V_0^2 \cdot \eta\mu^2\phi_0) / g$
- Χρόνος πτήσης :  $t_{\pi} = ( 2 \cdot V_0 \cdot \eta\mu\phi_0 ) / g$ .



# Πλάγια βολή 6

- Η οριζόντια ταχύτητα είναι σταθερή σε όλη τη διάρκεια της πτήσης.
- Η διάρκεια πτήσης εξαρτάται μόνο από το μέγιστο ύψος πτήσης (η οριζόντια κίνηση δεν επηρεάζει τη διάρκεια πτήσης).
- ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΑΠΟΓΕΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΓΕΙΩΣΗΣ
- Σε αυτή την περίπτωση το μέγιστο μήκος βολής δεν επιτυγχάνεται με γωνία απογείωσης  $45^\circ$ , αλλά με ελαφρώς μικρότερη γωνία.
- Η ιδανική γωνία ( $\phi_{\text{ιδ}\alpha}$ ) για μέγιστο βεληνεκές :
- $\text{συν}(2\phi_{\text{ιδ}\alpha}) = (2 \cdot h_0 \cdot g) / V_0^2$

# Εφαρμογές 1

- Ένας καταδύτης πέφτει από ύψος 10 m. Πόσο διαρκεί η πτώση του ;
- $t = (2 h / g)^{1/2}$
- $t = (2 \cdot 10 \text{ m} / 9,81 \text{ m/sec}^2)^{1/2} = 1,43 \text{ sec}$
- Με ποια ταχύτητα πέφτει στο νερό ;
- $V = (2 \cdot g \cdot h)^{1/2}$
- $V = (2 \cdot 9,81 \text{ m/sec}^2 \cdot 10 \text{ m})^{1/2} = 14 \text{ m/sec} = 50,4 \text{ Km/h}$

# Εφαρμογές 2

- Άλτης του ύψους έχει ύψος απογείωσης του ΚΒΣ  $h_0 = 1,1 \text{ m}$  και κατακόρυφη ταχύτητα απογείωσης  $V_0 = 4 \text{ m / sec}$
- α) ποιο είναι το μέγιστο ύψος πτήσης πάνω από το σημείο απογείωσης
- β) ποιο είναι το μέγιστο συνολικό ύψος του ΚΒΣ
- $h_{\max} = V_0^2 / 2g = (4^2 \text{ m}^2 / \text{sec}^2) / (2 \cdot 9,81 \text{ m / sec}^2) = 0,82 \text{ m}.$
- Το μέγιστο συνολικό ύψος του ΚΒΣ είναι :
- $h = h_0 + h_{\max} = 1,10 \text{ m} + 0,82 \text{ m} = 1,92 \text{ m}.$
- Αθλητής στο τραμπολίνο απογειώνεται προς τα πάνω με ταχύτητα  $V_0 = 8 \text{ m / sec}$
- Πόσο χρόνο έχει στη διάθεσή του για να εκτελεί περιστροφές.
- $t_{\text{πτ}} = 2V_0 / g = (2 \cdot 8 \text{ m / sec}) / (9,81 \text{ m / sec}^2) = 1,63 \text{ sec}$

# Εισαγωγή στη δυναμική 1

- Δυναμική (kinetics) είναι ο κλάδος της μηχανικής που εξετάζει τις αιτίες της κίνησης (τα στοιχεία που την προκαλούν και την επηρεάζουν).
- Η δυναμική έχει να κάνει με τις δυνάμεις που δρουν σε ένα σύστημα.
- Αν η προκύπτουσα κίνηση είναι μεταφορική τότε μιλούμε για γραμμικά δυναμικά χαρακτηριστικά, ενώ αν είναι περιστροφική για γωνιακά δυναμικά χαρακτηριστικά.
- Η βάση για κατανόηση των γραμμικών δυναμικών μεγεθών είναι η δύναμη, ενώ άλλα σημαντικά μεγέθη είναι η μάζα, η αδράνεια, η ώθηση της δύναμης, κλπ. Το έργο, η ενέργεια, η ισχύς είναι συνδυασμός κινηματικών και δυναμικών χαρακτηριστικών της κίνησης και γι αυτό εξετάζονται χωριστά.
- Η αναζήτηση των αιτιών της κίνησης αρχίζει από την αρχαία εποχή (Αριστοτέλης, Γαλιλαίος), όμως ο ακρογωνιαίος λίθος για τη μηχανική της ανθρώπινης κίνησης είναι οι νόμοι της κίνησης που περιγράφονται από τον Ισαάκ Νεύτωνα (Newton) στο βιβλίο του «Principia Mathematica» (1687).

# Εισαγωγή στη δυναμική 2

- *Οι παράγοντες που επηρεάζουν την κίνηση ενός σώματος είναι η μάζα, ο όγκος, η αδράνεια και η δύναμη στις διάφορες μορφές της.*
- Μάζα είναι η ποσότητα της ύλης από την οποία αποτελείται ένα σώμα.
- Βάρος είναι η δύναμη με την οποία η γη έλκει τη μάζα προς το κέντρο της. Η δύναμη του βάρους κατευθύνεται προς το κέντρο της γης.
- Η μάζα παραμένει σταθερή, ενώ το βάρος αλλάζει ανάλογα με την απόσταση από το κέντρο της γης.
- Όγκος είναι ο γεωμετρικός χώρος που καλύπτει ένα σώμα.
- Πυκνότητα είναι το πηλίκο της μάζας  $m$  του σώματος δια του αντίστοιχου όγκου  $V$  μέσα στον οποίο βρίσκεται η μάζα ( $\rho = m / V$ ), σε ( $\text{g/cm}^3$ ). Στο σώμα μεγαλύτερη πυκνότητα έχουν τα οστά και μικρότερη το λίπος, και από τα μέλη του μεγαλύτερη τα κάτω άκρα και μικρότερη ο θώρακας.
- Αδράνεια είναι το χαρακτηριστικό της μάζας που της επιτρέπει να διατηρεί την κινητική της κατάσταση (ηρεμία, ευθύγραμμη ομαλή κίνηση). Η μάζα είναι ο δείκτης της αδράνειας ενός σώματος.

# Γενικά περί δύναμης 1

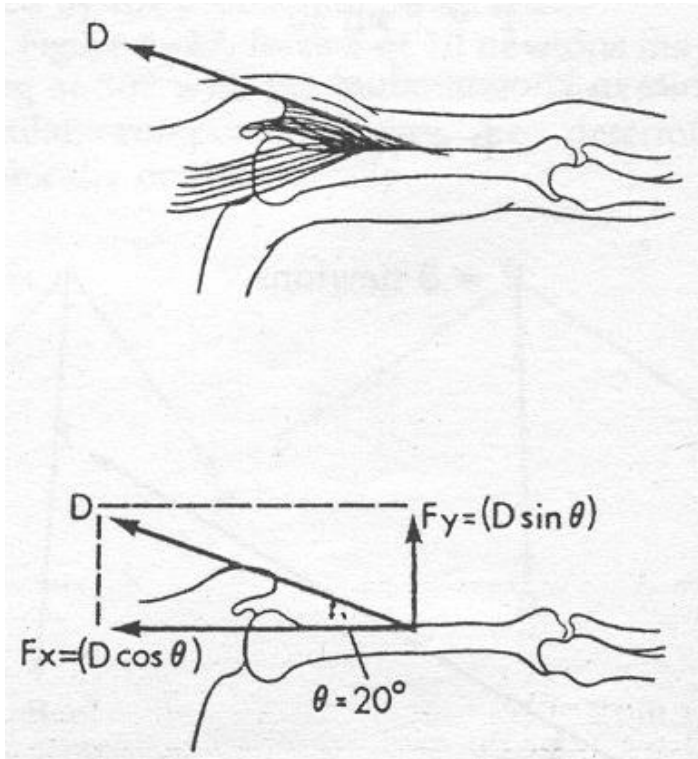
- Η δύναμη έχει μερικές χαρακτηριστικές ιδιότητες που έχουν να κάνουν με τον τρόπο που αυτή εφαρμόζεται και με τον τρόπο που μετριέται και αναλύεται.
- Η δύναμη εμπεριέχει την αλληλεπίδραση μεταξύ δύο σωμάτων. Ασκείται πάντα από ένα σώμα πάνω σε ένα άλλο, έλκοντας ή ωθώντας το, διαφοροποιώντας έτσι την κινητική του κατάσταση (παραγωγή κίνησης, σταμάτημα της κίνησης, πρόσδοση θετικής ή αρνητικής επιτάχυνσης, μεταβολή της διεύθυνσης της κίνησης του σώματος).

# Γενικά περί δύναμης 2

- Μια δύναμη δεν είναι δυνατόν να εφαρμόζεται μέσα στο ίδιο το σώμα, εκτός και αν το σώμα αποτελείται από επιμέρους σώματα, οπότε αυτή εφαρμόζεται μεταξύ των επιμέρους σωμάτων.
- Στον ανθρώπινο κινητικό μηχανισμό οι δυνάμεις που αναπτύσσονται από το μυϊκό σύστημα είναι μόνο ελκτικές (λόγω των προσφύσεων του μυός πάνω στα οστά, η μυϊκή συστολή έχει ως αποτέλεσμα την έλξη του σχετικά κινητού μέλους προς το σχετικά ακίνητο). Όμως το εξωτερικό αποτέλεσμα της μυϊκής δύναμης μπορεί να είναι τόσο έλξη (έλξη του σώματος στο μονόζυγο) όσο και ώθηση (ρίψη της σφαίρας).

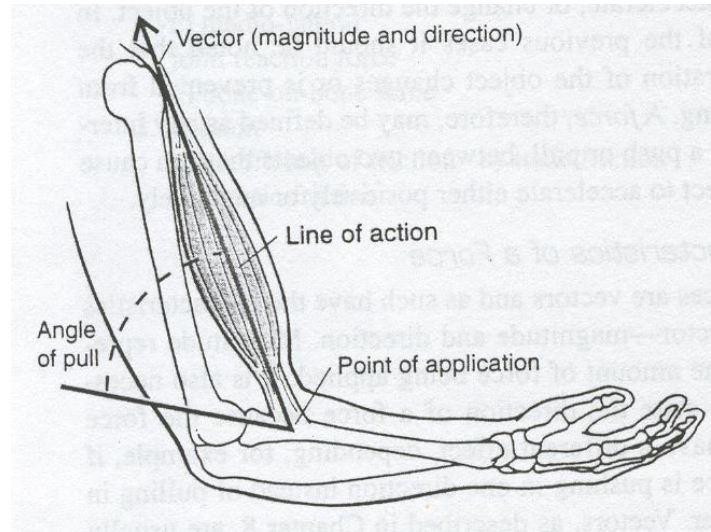
# Χαρακτηριστικά της δύναμης 1

- Η δύναμη ( $F$ ) είναι διανυσματικό μέγεθος και ορίζεται από το σημείο εφαρμογής της, από την ποσότητα (μέτρο), τη διεύθυνση και τη φορά της.
- Σημείο εφαρμογής είναι το σημείο επαφής μεταξύ του σώματος που εφαρμόζει τη δύναμη και του σώματος που δέχεται τη δύναμη. Συνήθως (ανθρώπινος κινητικός μηχανισμός), το σημείο εφαρμογής της μυϊκής δύναμης είναι το σημείο κατάφυσης του μυός πάνω στο οστό. Παρόλο που σε πολλές περιπτώσεις δεν υπάρχει μόνο ένα σημείο κατάφυσης (δελτοειδής μυς) για μεθοδολογικούς λόγους θεωρούμε ότι υπάρχει ένα καταφυτικό σημείο.





# Χαρακτηριστικά της δύναμης 2

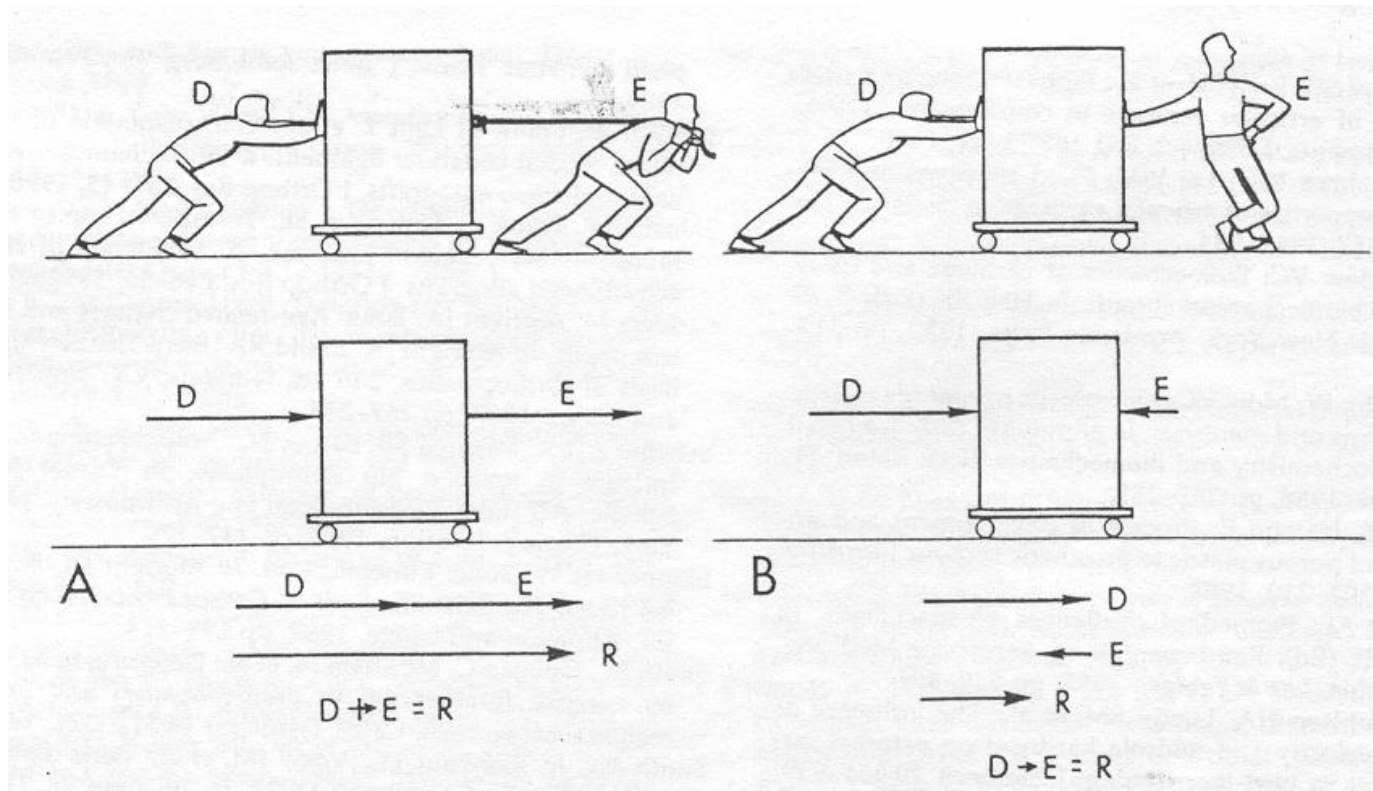


- Η δύναμη παριστάνεται με βέλος, του οποίου το μήκος δείχνει την ποσότητά της και η ακίδα του βέλους την κατεύθυνση προς την οποία ασκείται η δύναμη.
- Φορέας ή γραμμή δράσης της δύναμης είναι μια ευθεία γραμμή απεριόριστου μήκους στη διεύθυνση δράσης της δύναμης. Μια δύναμη μπορεί να προσδώσει σε ένα σώμα την ίδια επιτάχυνση αν δρα οπουδήποτε κατά μήκος της γραμμής δράσης της. Ο προσανατολισμός της γραμμής δράσης ορίζεται αναφορικά με ένα σύστημα συντεταγμένων X-Y και δίδεται ως γωνιακή θέση (γωνία εφαρμογής).

# Χαρακτηριστικά της δύναμης 3

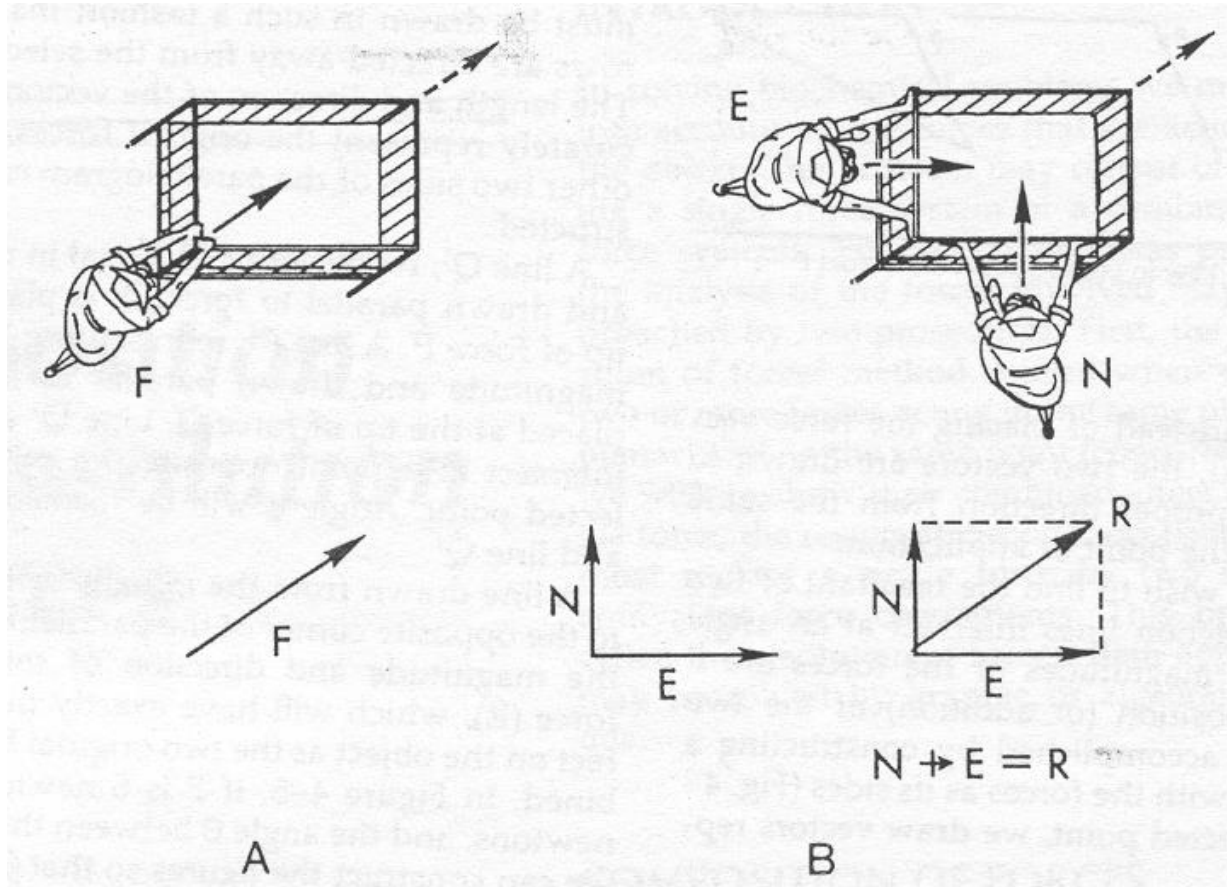
- Οι δυνάμεις που υπάρχουν στη φύση και οι οποίες επηρεάζουν την κίνηση του ανθρώπου μπορούν να ταξινομηθούν με διάφορους τρόπους, με συνηθέστερη διάκρισή τους σε δυνάμεις επαφής και δυνάμεις μη-επαφής. Οι δυνάμεις επαφής είναι αυτές που ασκούνται από ένα σώμα σε ένα άλλο όταν αυτά βρίσκονται σε άμεση επαφή, ενώ οι δυνάμεις μη-επαφής ασκούνται μεταξύ σωμάτων που βρίσκονται σε κάποια απόσταση μεταξύ τους.
- Ως δύναμη μη-επαφής αναφέρουμε τη δύναμη βαρύτητας, ενώ κυριότερες δυνάμεις επαφής για την ανθρώπινη κίνηση είναι: δύναμη αντίδρασης του εδάφους, αρθρική δύναμη αντίδρασης, τριβή, δύναμη αντίστασης στα ρευστά, δύναμη αδράνειας, μυϊκή δύναμη, ελαστική δύναμη.

# Χαρακτηριστικά της δύναμης 4



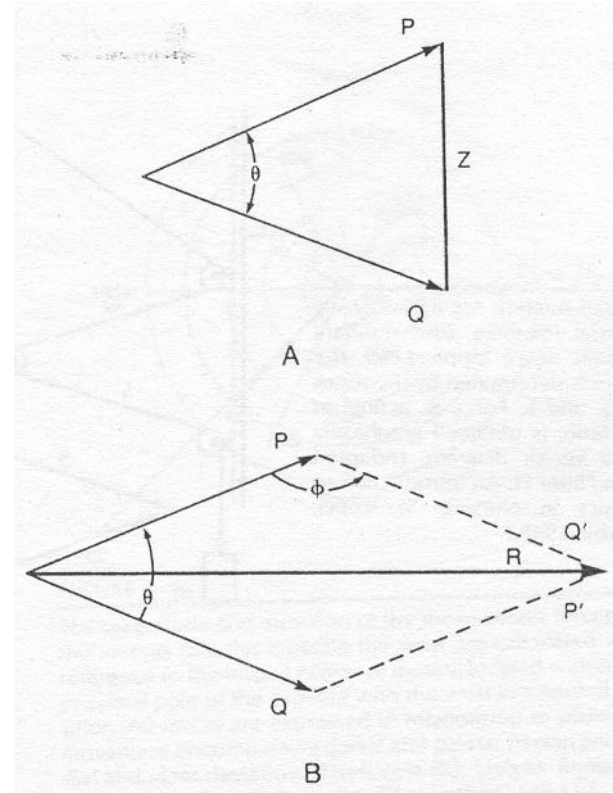
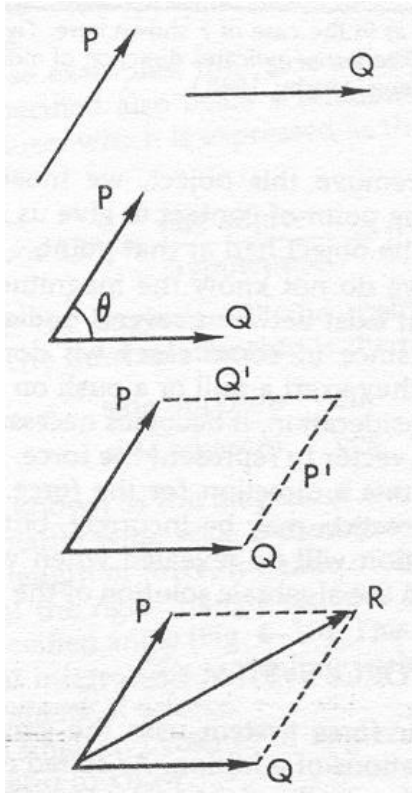
- Πρόσθεση διανυσμάτων για την εύρεση του συνισταμένου (συνολικού) αποτελέσματος δύο δυνάμεων με την ίδια διεύθυνση.

# Χαρακτηριστικά της δύναμης 5



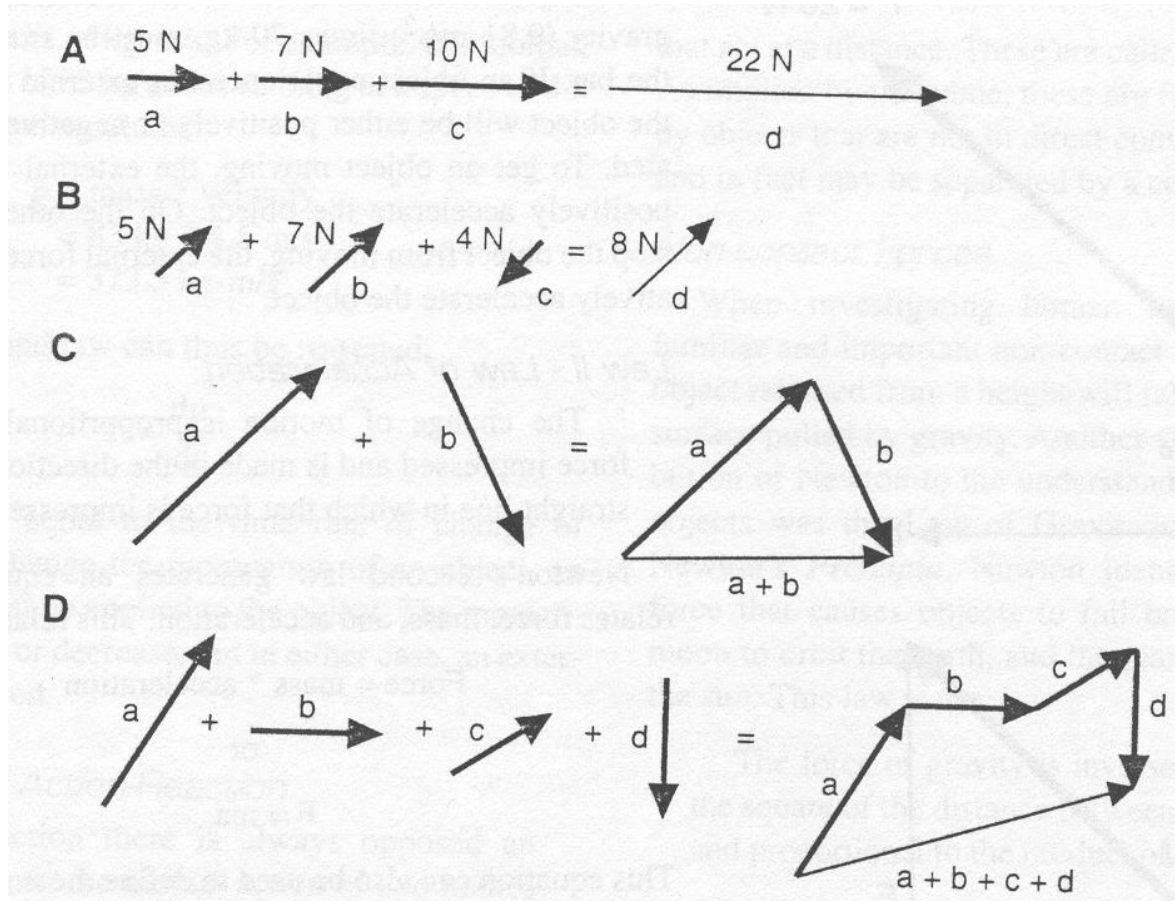
- Μια δύναμη είναι πιο αποτελεσματική όταν ασκείται στην επιθυμητή διεύθυνση της κίνησης (A). Δύο ή περισσότερες δυνάμεις μπορούν να συνδυαστούν για την επίτευξη της επιθυμητής διεύθυνσης (B).

# Χαρακτηριστικά της δύναμης 6



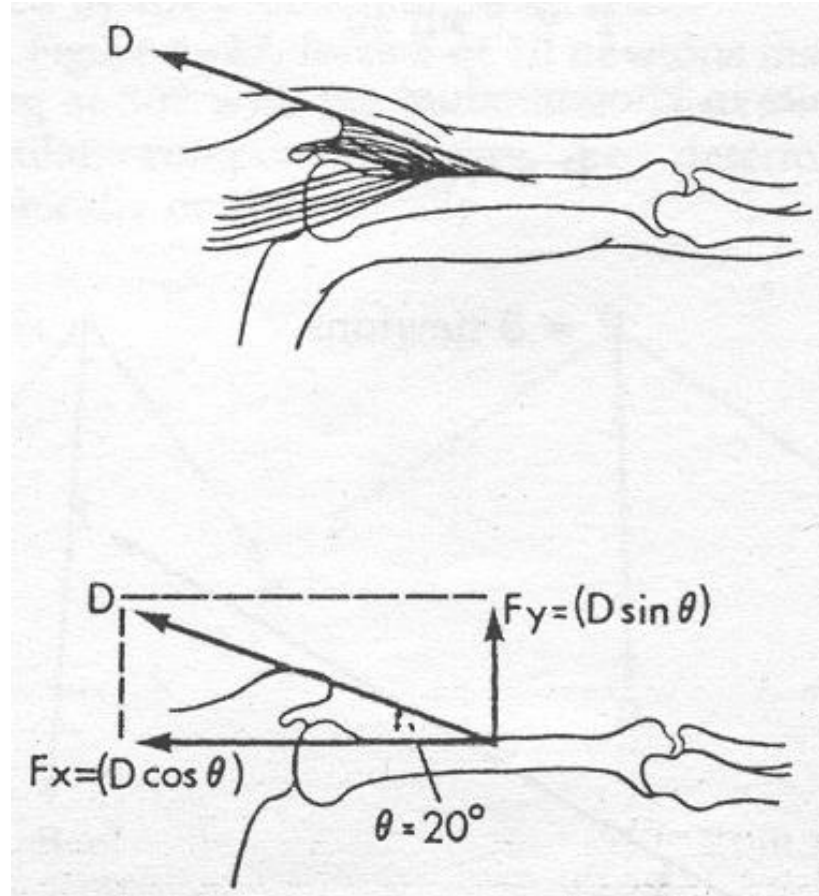
- Πρόσθεση διανυσμάτων για την εύρεση του συνισταμένου (συνολικού) αποτελέσματος δύο δυνάμεων που οι διευθύνσεις τους σχηματίζουν γωνία. Με βάση το νόμο των συνημιτόνων η γωνία  $\Phi$ , ως παραπληρωματική της  $\theta$ , μπορεί να προσδιορίσει την συνισταμένη.

# Χαρακτηριστικά της δύναμης 7



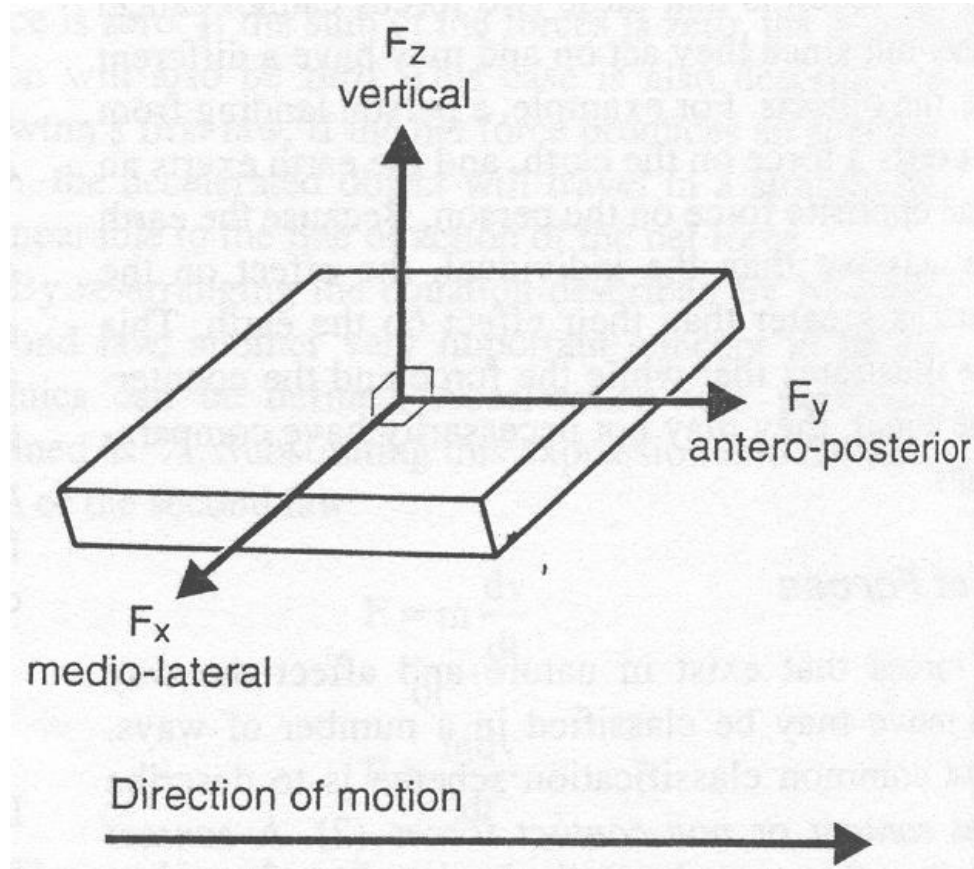
- Πρόσθεση δύο ή περισσότερων διανυσμάτων για την εύρεση του συνολικού αποτελέσματος (συνισταμένη δύναμη).

# Χαρακτηριστικά της δύναμης 8



- Ανάλυση της δύναμης του δελτοειδούς μυός (D) σε στροφική συνιστώσα ( $F_y$ ) και σε σταθεροποιό συνιστώσα ( $F_x$ ). Η γωνία εφαρμογής είναι  $20^\circ$ .

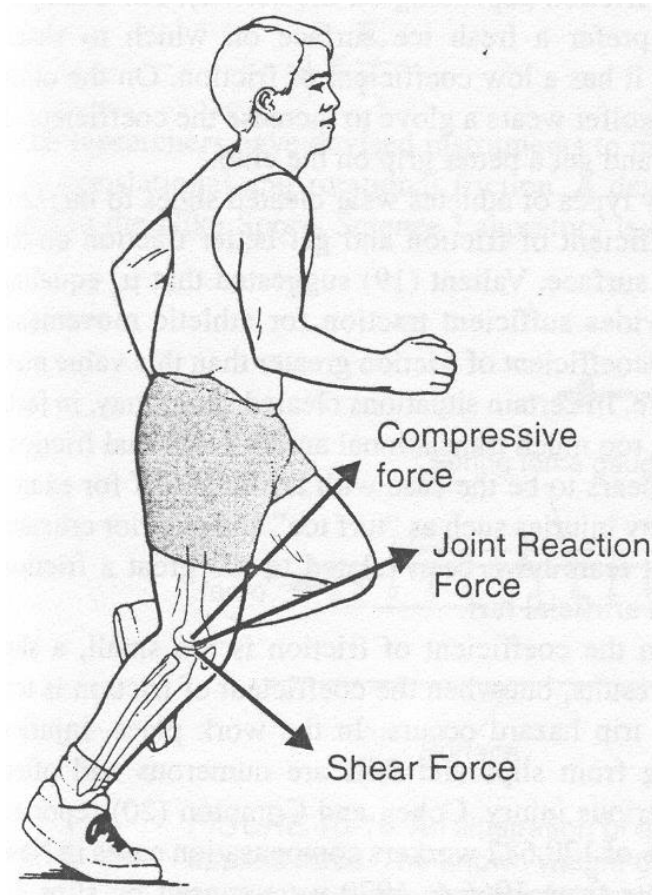
# Χαρακτηριστικά της δύναμης 9



- Συνιστώσες της δύναμης αντίδρασης του εδάφους. Η αρχή του συστήματος συντεταγμένων του δυναμοδάπεδου τοποθετείται στο κέντρο του δυναμοδάπεδου.

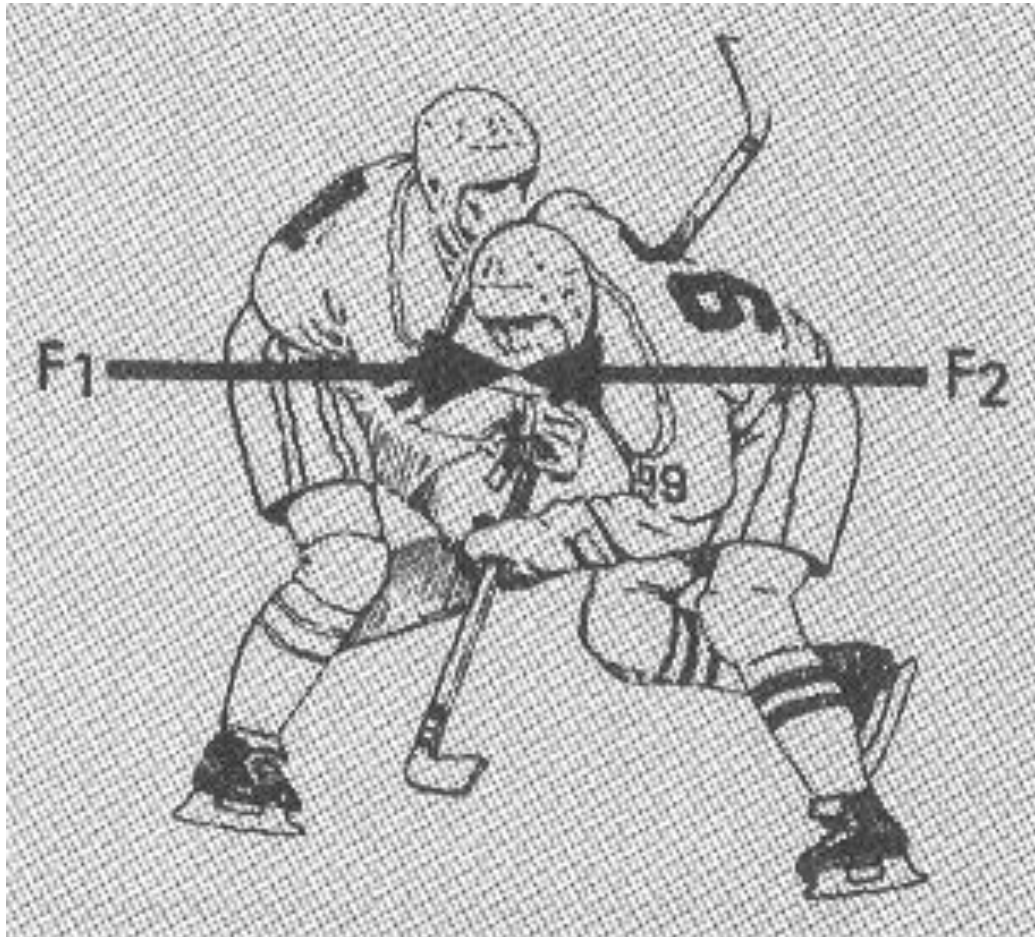


# Χαρακτηριστικά της δύναμης 10



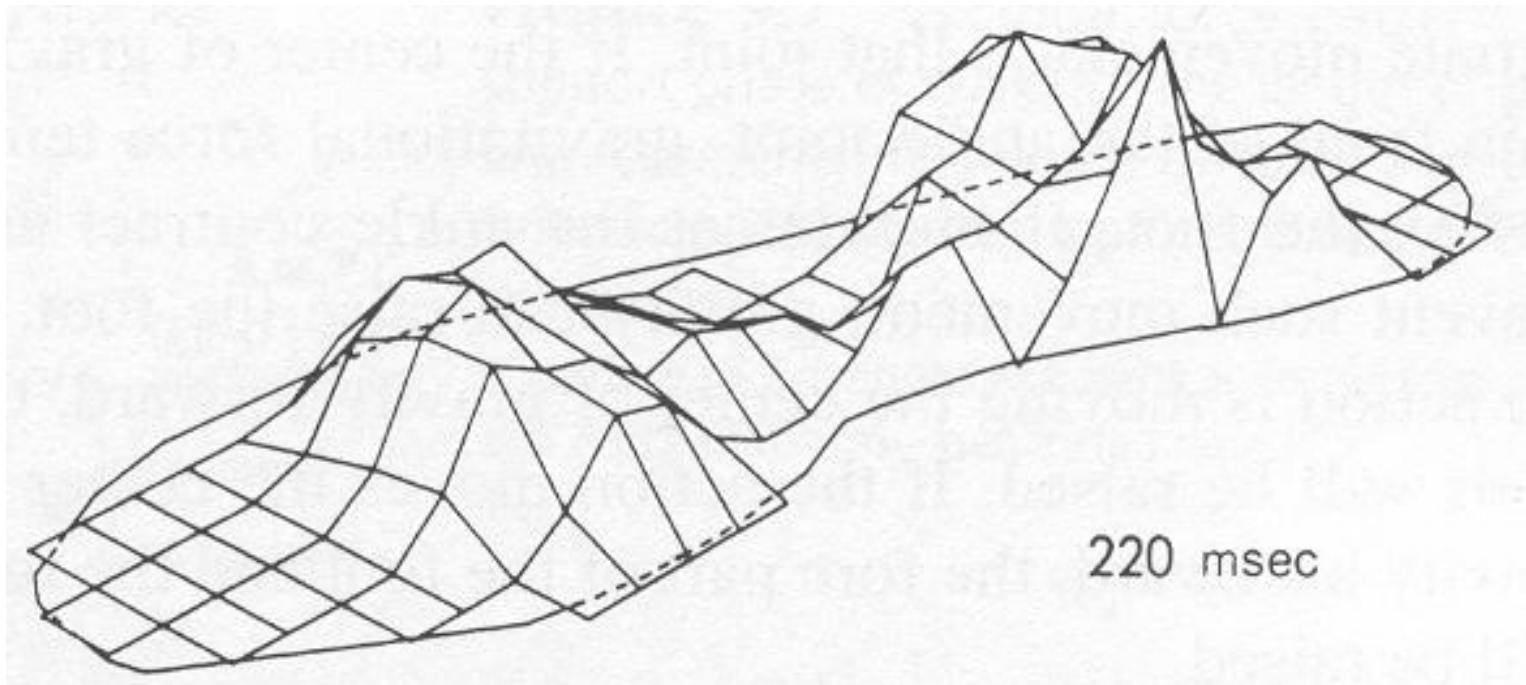
- Η αρθρική δύναμη αντίδρασης του γονάτου και οι συνιστώσες της διατμητική (shear) και θλιπτική (compressive).

# Χαρακτηριστικά της δύναμης 11



- Το τρίτο αξίωμα του Νεύτωνα (δράση και αντίδραση) βρίσκει εφαρμογή κατά την κρούση δύο σωμάτων.

# Χαρακτηριστικά της δύναμης 12



- Ως πίεση ορίζουμε τη δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας (κατανομή της δύναμης). Εδώ, παρουσιάζεται πρότυπο πίεσης του άκρου ποδιού ενός ατόμου κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης στο βάδισμα. Οι μεγαλύτερες τιμές πίεσης λαμβάνουν χώρα στη μέση της φτέρνας και στο μετατόρσιο.

# 1<sup>ο</sup> Αξίωμα του Νεύτωνα (νόμος της αδράνειας)

- Κάθε σώμα παραμένει σε κατάσταση ηρεμίας ή ευθύγραμμης ομαλής κίνησης εφόσον δεν επιδρούν πάνω του εξωτερικές δυνάμεις με σκοπό να μεταβάλλουν την κινητική του κατάσταση.
- Το αξίωμα αυτό αποτελεί μια ποιοτική περιγραφή της μεταβολής της κινητικής κατάστασης ενός σώματος, διατυπώνοντας ότι η μεταβολή της θέσης του ή της ταχύτητάς του είναι αποτέλεσμα της επίδρασης κάποιας δύναμης.
- Θεωρητικά η ακινησία και η ευθύγραμμη ομαλή κίνηση έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά, μόνο που όταν υπάρχει κίνηση το σώμα έχει ορμή και περικλείει ενέργεια.

# 2<sup>ο</sup> Αξίωμα του Νεύτωνα

## (θεμελιώδης νόμος της μηχανικής)

- Η μεταβολή της κινητικής κατάστασης ενός σώματος (επιτάχυνση) είναι ανάλογη της δύναμης που την προκαλεί και αντιστρόφως ανάλογη της μάζας του σώματος.
- $F = m \cdot a$
- Όταν σε ένα σώμα εφαρμοστεί κάποια δύναμη αυτό θα αποκτήσει επιταχυνόμενη κίνηση που θα διαρκέσει όσο υπάρχει η εφαρμογή της δύναμης. Όταν η δύναμη σταματήσει να εφαρμόζεται, τότε η κίνηση του σώματος θα σταματήσει να είναι επιταχυνόμενη και το σώμα θα συνεχίσει να κινείται λόγω της αδράνειάς του.
- Η δύναμη προσδιορίζεται από τη δυνατότητά της να προκαλεί επιτάχυνση.
- Η παραπάνω σχέση συνδέει τα κινητικά με τα κινηματικά μεγέθη.

# 3<sup>ο</sup> Αξίωμα του Νεύτωνα (νόμος δράσης και αντίδρασης)

- Η αμοιβαία αλληλεπίδραση δύο σωμάτων είναι πάντα ίση και αντίθετη ( $F_{1-2} = - F_{2-1}$ )
- Η δύναμη εμφανίζεται πάντα κατά ζεύγη, σε κάθε δύναμη (δράση) αντιστοιχεί και μια αντίθετη προς αυτή δύναμη (αντίδραση).
- Η δράση και η αντίδραση είναι συμβατικές ονομασίες. Συνήθως δράση είναι η δύναμη που ασκούμε πάνω σε ένα αντικείμενο, ενώ η δύναμη του αντικειμένου πάνω στο σώμα μας ονομάζεται αντίδραση. Στην ανθρώπινη κίνηση συνήθως δράση είναι η δύναμη που εφαρμόζεται στην κατάφυση, στο σχετικά κινητό μέλος.
- Οι δύο δυνάμεις (δράση και αντίδραση) εφαρμόζονται σε διαφορετικά σώματα (γι αυτό δεν τίθεται θέμα ισορροπίας στο σώμα).
- Η δράση και η αντίδραση χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της κίνησης. Λόγω της αδυναμίας μελέτης της μυϊκής δύναμης άμεσα (δυναμόμετρο μέσα στο μυ) χρησιμοποιούμε τη μέτρηση της δύναμης που δέχεται ένα αντικείμενο ή η γη από το σώμα (δυνάμεις αντίδρασης του εδάφους).

# Ορμή

- Όταν ένα σώμα κινείται, το γινόμενο της μάζας του ( $m$ ) επί την ταχύτητά του ( $V$ ) ονομάζεται ορμή.
- $J = m \cdot V$
- Η ορμή είναι διανυσματικό μέγεθος και έχει διεύθυνση ίδια με εκείνη της ταχύτητας. Μονάδα μέτρησης : Newton . Sec (NS).
- Η ορμή ενός κινούμενου σώματος δείχνει την κινητική κατάσταση του σώματος. Συνδέεται άμεσα με τη δύναμη και την ενέργεια της κίνησης και είναι ο σημαντικότερος παράγοντας στις συγκρούσεις των σωμάτων (ορμή στις σκόπιμες συγκρούσεις των παιχτών στο αμερικάνικο ποδόσφαιρο).
- Όταν η μάζα είναι σταθερή, η μεταβολή της ορμής είναι ίση με τη μεταβολή της ταχύτητας, που μπορεί να προκληθεί μόνο με την επίδραση μιας δύναμης.

# Ώθηση δύναμης

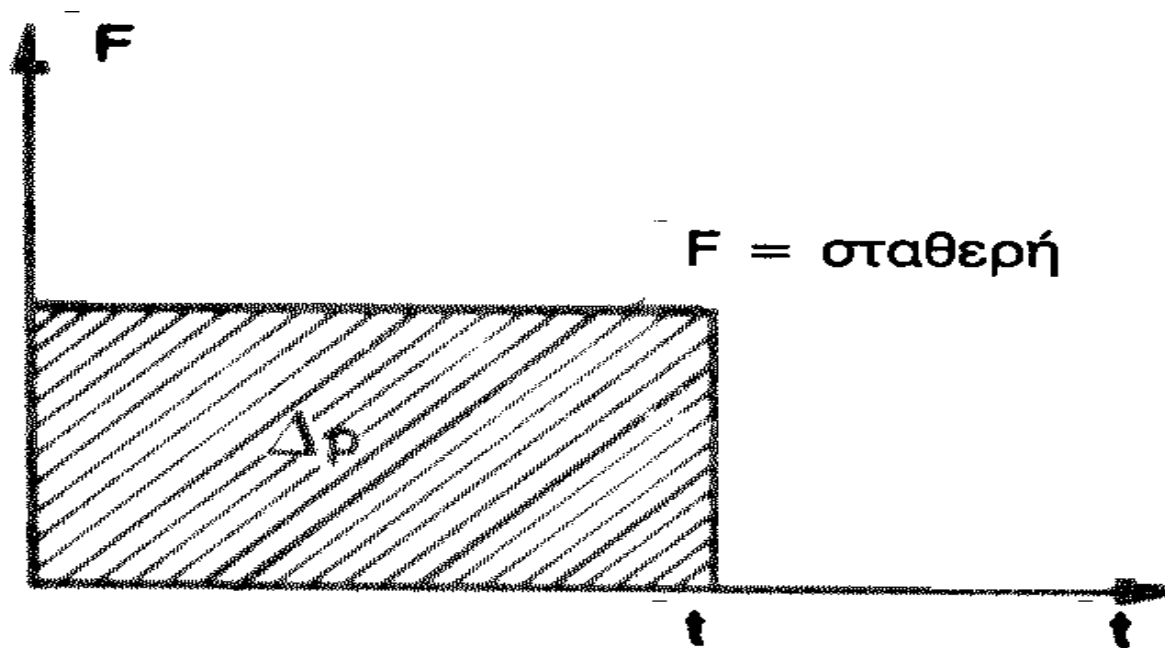
- Ώθηση της δύναμης είναι το γινόμενο της δύναμης που εφαρμόζεται πάνω σε ένα σώμα επί το χρόνο μέσα στον οποίο δρα η δύναμη.
- $F \cdot \Delta t = \text{ώθηση}$
- Δεν έχει τόσο μεγάλη σημασία πόση θα είναι η μέγιστη δύναμη που θα εφαρμοστεί πάνω σε ένα σώμα, αλλά το γινόμενο της δύναμης επί το χρόνο εφαρμογής της.
- Γνωρίζοντας ότι η δύναμη που εφαρμόζεται από κάποια μυϊκή ομάδα σε ένα όργανο μέτρησης δεν έχει σταθερή τιμή (γωνία άρθρωσης, ταχύτητα κίνησης, κλπ) είναι δύσκολο να υπολογίσουμε την ώθηση, εκτός και αν γνωρίζουμε τη μορφή της ανάπτυξης της δύναμης, δηλαδή το μέγεθός της σε κάθε ελάχιστη χρονική περίοδο και το μέγεθος των αντίστοιχων χρονικών περιόδων (ολοκλήρωμα της δύναμης ως προς το χρόνο εφαρμογής της, το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη της δύναμης).



# Μεταβολή της ορμής 1

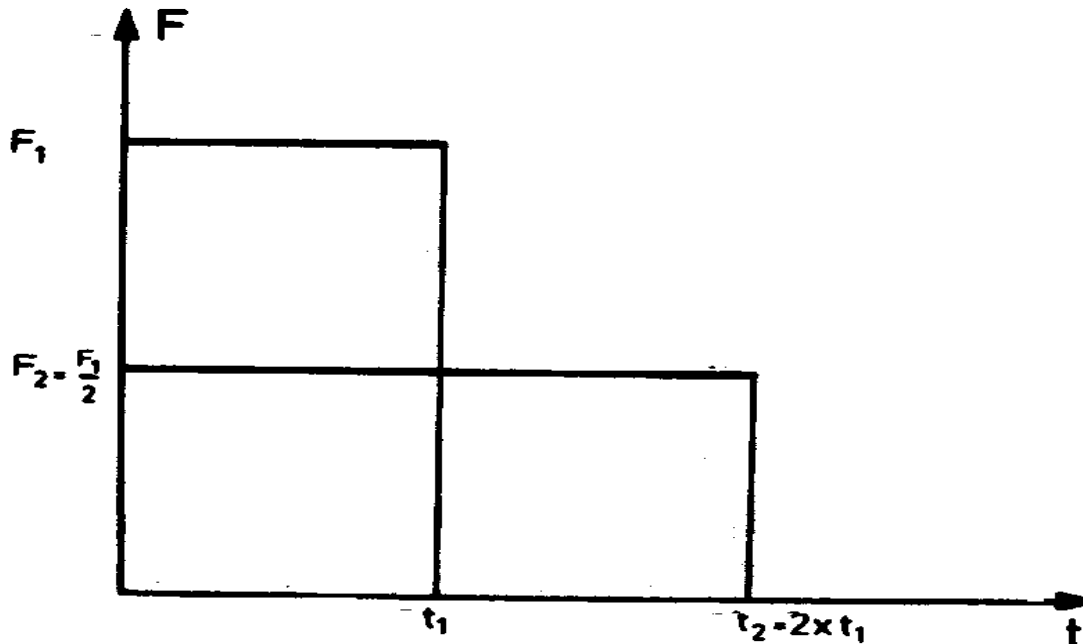
- Από τη εξίσωση  $F = m \cdot a$  αν όπου  $a$  βάλουμε  $\Delta v / \Delta t$  και πολλαπλασιάσουμε τα δύο μέλη με  $\Delta t$  έχουμε :
- $F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta V$
- Η μεταβολή της ορμής ( $\Delta J$ ) είναι ίση με την ώθηση της δύναμης (νόμος μεταβολής της ορμής).
- Η συνολική ορμή ενός κλειστού συστήματος (απουσία εξωτερικών δυνάμεων) είναι σταθερή (αρχή διατήρησης της ορμής).
- Όταν η δύναμη δεν μπορεί να μετρηθεί, τότε η ώθησή της μπορεί να μετρηθεί από το αποτέλεσμα της, που είναι η διαφορά της ορμής της μάζας στην οποία εφαρμόζεται η δύναμη. Αυτό προϋποθέτει γνώση της ταχύτητας της μάζας πριν και μετά την εφαρμογή της δύναμης.

# Μεταβολή της ορμής 2



- Όταν η δύναμη είναι σταθερή, η ώθηση προκύπτει από το εμβαδόν ενός παραλληλογράμμου με πλευρές  $F$  και  $t$ , που παρουσιάζει τη μεταβολή της ορμής  $\Delta J$ .

# Μεταβολή της ορμής 3



- Η ίδια μεταβολή της ορμής  $\Delta J$  μπορεί να επιτευχθεί, είτε με μεγάλη δύναμη και μικρή διάρκεια είτε με μικρή δύναμη και μεγάλη διάρκεια επίδρασης.
- ( $F_2 = 1/2 F_1$ ,  $t_2 = 2t_1$ ,  $\Rightarrow \Delta J_2 = F_2 \cdot t_2 = 1/2 F_1 \cdot 2 t_1 = F_1 \cdot t_1$ ).

# Εφαρμογές 1

- Άλμα σε μήκος
- Ένας άλτης του μήκους μάζας  $m = 70 \text{ Kg}$  έχει στην αρχή της φάσης στήριξης για απογείωση οριζόντια ταχύτητα  $V_{\text{πρ}} = 9,6 \text{ m/sec}$ . Στη φάση στήριξης για απογείωση υπολογίζουμε μια οριζόντια ώθηση της δύναμης (το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη δύναμης χρόνου) ίση με  $- 84 \text{ NS}$ . Ποια είναι η οριζόντια ταχύτητα απογείωσης ( $V_{\text{απ}}$ ) του άλτη ;
- $F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta V \Rightarrow$
- $\Delta V = ( F \cdot \Delta t ) / m = - 84 \text{ NS} / 70 \text{ Kg} = - 1,2 \text{ m/sec}$
- Η ταχύτητα απογείωσης είναι :  $V_{\text{απ}} = V_{\text{πρ}} - \Delta V = 9,6 - 1,2 = 8,4 \text{ m/sec}$

# Εφαρμογές 2

- Σφαιροβολία
- Σε μια σφαίρα μάζας  $m = 7,25 \text{ Kg}$  ενός σφαιροβόλου ασκείται για χρόνο  $\Delta t = 0,25 \text{ sec}$  προς τη διεύθυνση της ρίψης μια μέση δύναμη  $F = 435 \text{ N}$ . Με ποιά ταχύτητα θα απελευθερωθεί η σφαίρα από το χέρι του ρίπτη ;
- $F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta V \Rightarrow$
- $\Delta V = ( F \cdot \Delta t ) / m = ( 435 \text{ N} \cdot 0,25 \text{ sec} ) / 7,25 \text{ Kg} = 12 \text{ m / sec}$
- $\Delta V = ( V1 - V0 ) = V1 = 12 \text{ m / sec}$  επειδή  $V0 = 0$