



HMY 370

Εισαγωγή στη Βιοϊατρική Μηχανική

Αρχές Εμβιομηχανικής (Biomechanics)



- **Τι είναι εμβιομηχανική;**

- Μελέτη των εσωτερικών και εξωτερικών δυνάμεων που επενεργούν στα μέρη του σώματος
- Τα αποτελέσματα αυτών των δυνάμεων
- Αρχές της μηχανικής όπως εφαρμόζονται στην ανθρώπινη κίνηση → Κινησιολογία
 - Μελέτη της κίνησης
 - Τείνει να επικεντρώνεται στο νευρο μυοσκελετικό σύστημα

- **Προβλήματα που μελετούνται στην εμβιομηχανική**

1. Πώς μπορεί να ενισχυθεί η ανθρώπινη απόδοση;
2. Πώς μπορούν να προληφθούν οι τραυματισμοί;
3. Πώς μπορεί να επισπευσθεί η αποκατάσταση μετά από τραυματισμό;

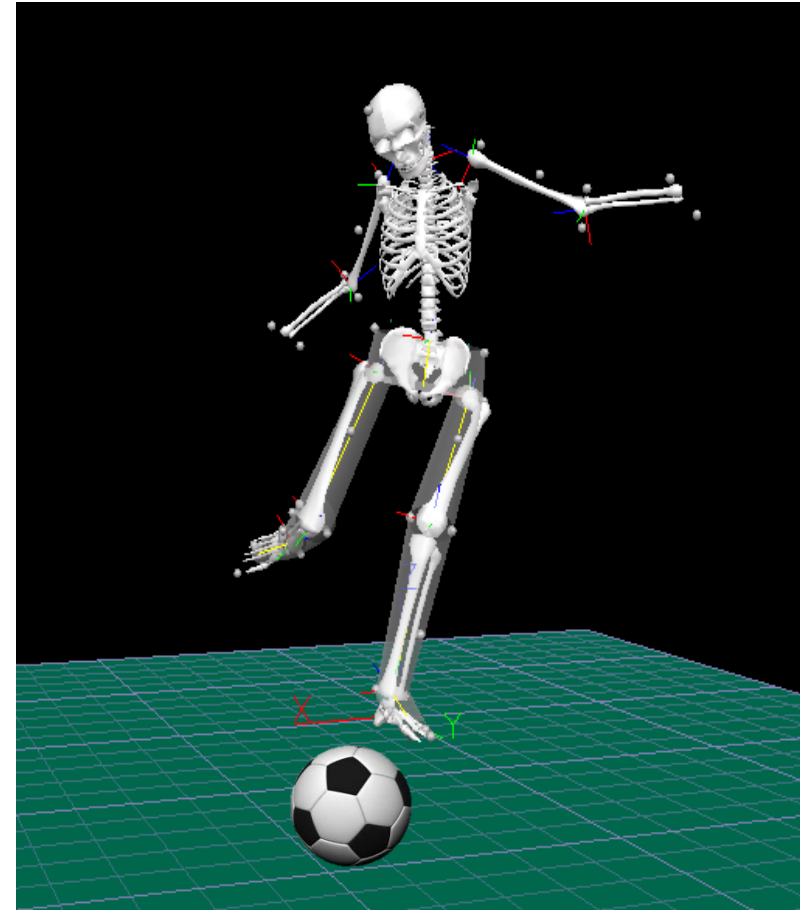
- **Περιοχές της Εμβιομηχανικής**

- Αθλητική Εμβιομηχανική
- Εργασιακή Εμβιομηχανική
- Κλινική Εμβιομηχανική



- **Κατανόηση και εφαρμογή μηχανικών αρχών στην**

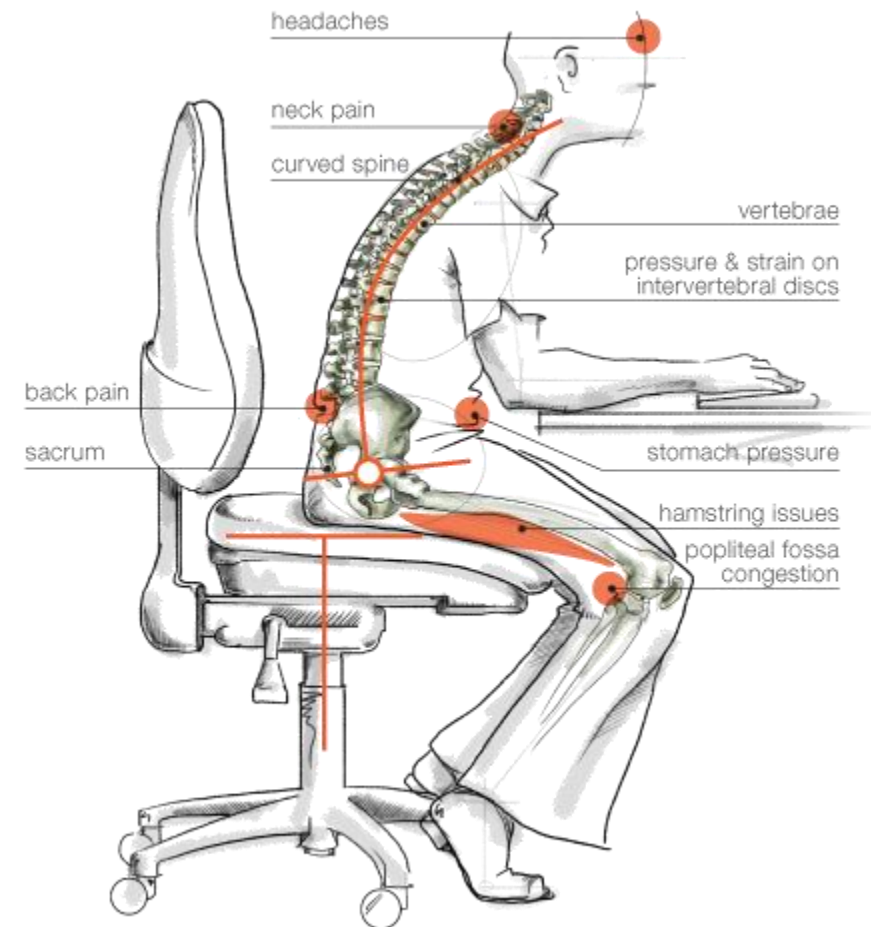
- Εκτίμηση του βέλτιστου τρόπου κίνησης του σώματος
- Επίτευξη της μέγιστης απόδοσης
- Ελαχιστοποίηση του κινδύνου τραυματισμού

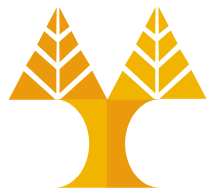


Εργασιακή Εμβιομηχανική



- Σχεδιασμός συσκευών και του περιβάλλοντος εργασίας ώστε
 - Να μειωθεί η επαναλαμβανόμενη πίεση στις αρθρώσεις του εργαζομένου
 - Να μειωθούν οι τραυματισμοί αλλά και τα μακροχρόνια προβλήματα





- **Ανάλυση των μηχανισμών τραυματισμένων ασθενών και παροχή ανατροφοδότησης (biofeedback)**
 - Αποκατάσταση της φυσιολογικής λειτουργίας.

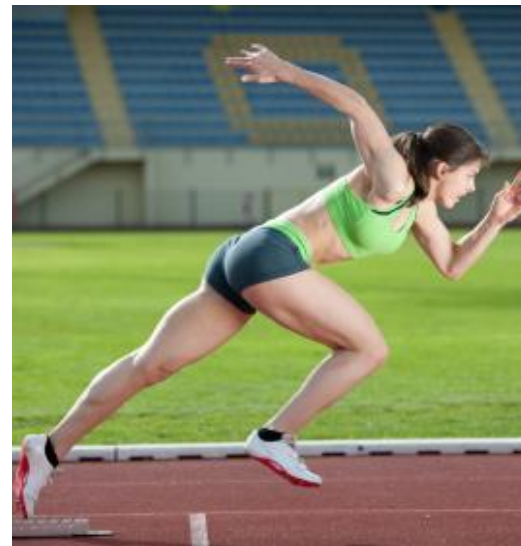


Εμβιομηχανική Ανάλυση



- Τέσσερις μεγάλες κατηγορίες:

1. Σταθερότητα (stability)
2. Μέγιστη Προσπάθεια (maximum effort)
3. Γραμμική Κίνηση (linear motion)
και
4. Περιστροφική κίνηση (angular motion)



1. Σταθερότητα (Stability)

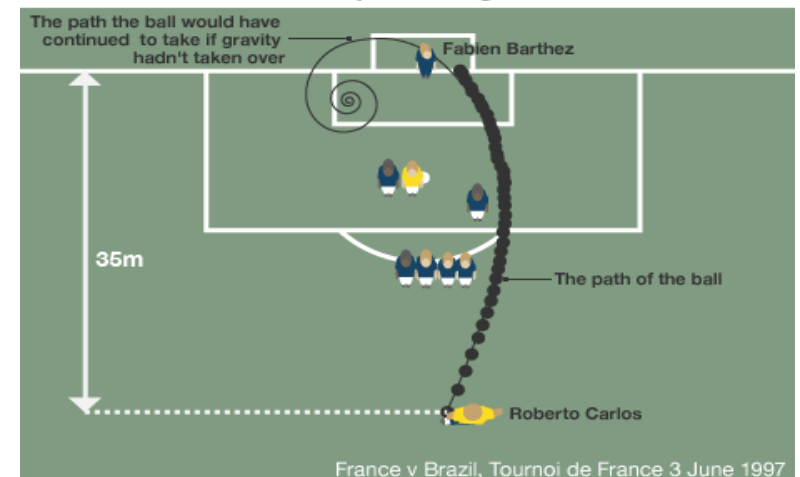


- **Κέντρο Βάρους (Μάζας)**

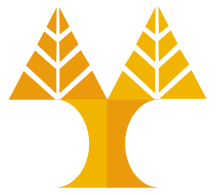
- Το σημείο, σε ένα αντικείμενο, όπου η μάζα του είναι εξισορροπημένη
 - Το σημείο στο οποίο το αντικείμενο θα ισορροπούσε πάνω σε μια μικρή βάση
- Σημαντικό για τη σταθερότητα
- Σημαντικό για την κίνηση
 - Μια δύναμη διαμέσου του ΚΒ → γραμμική κίνηση
 - Μια δύναμη σε απόσταση από το ΚΒ → Περιστροφική κίνηση



How Carlos scored an 'impossible' goal



1. Σταθερότητα (Stability)



- **Σταθερότητα**

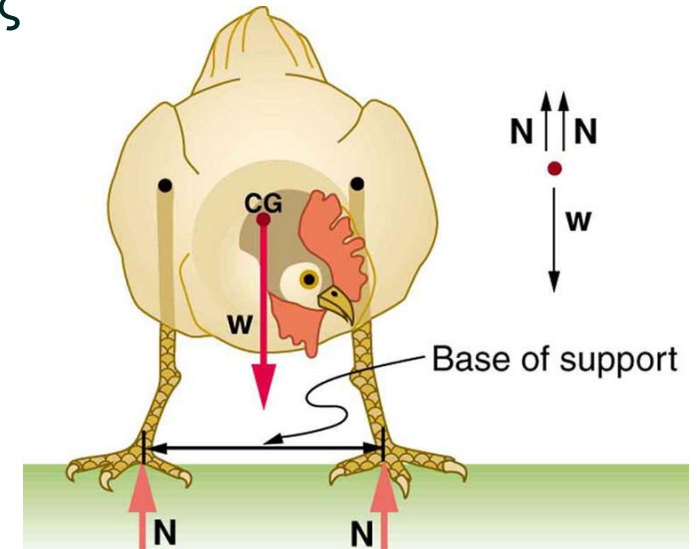
- Όταν η κάθετος από το κέντρο βάρους περνά από τη βάση στήριξης

- **Η σταθερότητα αυξάνεται με**

- Μεγαλύτερη βάση στήριξης
 - Κέντρο βάρους πιο κοντά στη βάση
 - Μεγαλύτερη μάζα

- **Παραδείγματα:**

- Πάλη Sumo
 - Ελληνορωμαϊκή Πάλη
 - Γυμναστική
 - Είναι αυτή η στάση σταθερή; Γιατί;



1. Σταθερότητα (Stability)

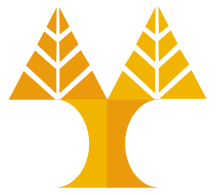


- **Ασταθής Ισορροπία**

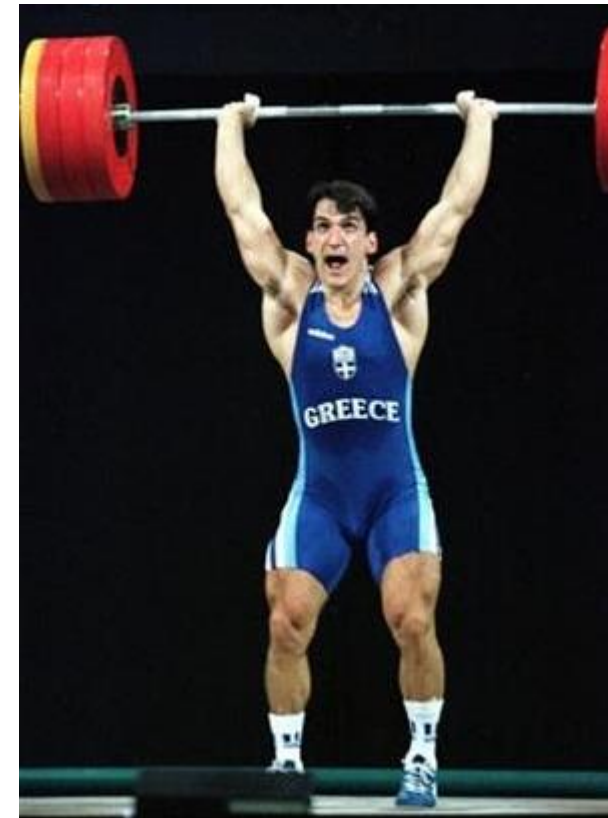
- Κάποιες φορές οι αθλητές θέλουν να έχουν ισορροπία αλλά να είναι έτοιμοι και να κινηθούν γρήγορα
 - Να είναι δηλαδή ασταθείς
- Παραδείγματα
 - Εκκίνηση δρόμου
 - Εκκίνηση κολύμβησης
 - Γιατί είναι ασταθείς σε αυτή τη στάση;
 - Η βάση είναι μικρή και το κέντρο βάρους ψηλά. Μικρή μετακίνηση → περιστροφή



2. Μέγιστη Προσπάθεια (Maximum Effort)

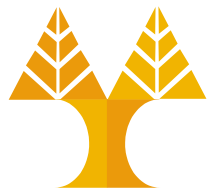


- Παραγωγή της μέγιστης δύναμης
 - Απαιτείται η χρήση όλων των δυνατών κινήσεων των κλειδώσεων οι οποίες συνεισφέρουν στο στόχο
- Παραδείγματα:
 - Άρση βαρών, Εκκίνηση δρόμου

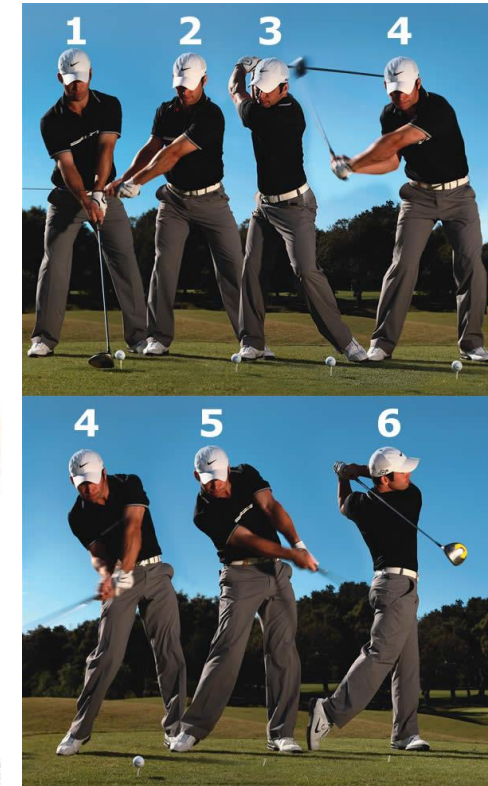


<https://www.youtube.com/watch?v=2lCfmC8z8oI>

2. Μέγιστη Προσπάθεια (Maximum Effort)



- Παραγωγή της μέγιστης ταχύτητας
 - Απαιτείται η χρήση όλων των κλειδώσεων με τη σειρά
 - Μεγαλύτερη → μικρότερη
- Παραδείγματα:
 - Πέταγμα μπάλας μπέιζμπολ
 - Χτύπημα μπάλας γκολφ



Μορφές Κίνησης



- Είναι σημαντικό να ξεχωρίσουμε τις δύο διαφορετικές μορφές κίνησης
- **Γραμμική (ή Μεταφορική) Κίνηση**
 - Κίνηση σε συγκεκριμένη κατεύθυνση.
 - Παράδειγμα: ένας σπρίντερ (επιτάχυνση κατά τη διαδρομή)
- **Περιστροφική κίνηση**
 - Κίνηση γύρω από έναν άξονα.
 - Η δύναμη δεν δρα μέσω του κέντρου της μάζας, αλλά είναι “εκτός κέντρου” και αυτό οδηγεί σε περιστροφή.
 - Παραδείγματα: περιστροφή του παγοδρόμου ή περιστροφή του χεριού
 - Οι περισσότερες ανθρώπινες κινήσεις είναι περιστροφικές, δηλαδή λαμβάνουν χώρα γύρω από έναν άξονα



Γραμμική Κίνηση (Linear Motion)



- Η κίνηση (του σώματος) γίνεται συνήθως αντίθετα προς την κατεύθυνση της δύναμης που εφαρμόζεται
 - Αντίθετα με την κίνηση της μπάλας που γίνεται λόγω εξωτερικής δύναμης και ακολουθεί την κατεύθυνση της δύναμης
 - Επηρεάζεται από τη βαρύτητα και άλλες δυνάμεις
- **Χαρακτηριστικά**
 - Η δύναμη επιταχύνει ένα αντικείμενο
 - $F = ma$
 - Όσο μεγαλύτερη η δύναμη που εφαρμόζεται σε ένα αντικείμενο, τόσο μεγαλύτερη η αύξηση της ταχύτητας (δηλ. η επιτάχυνση)
 - Χωρίς κάποια δύναμη υπάρχει διατήρηση της ορμής (momentum)
 - $p = m v$



3. Γραμμική Κίνηση (Linear Motion)



- **Παραδείγματα:**
 - Εκκίνηση
 - Μπάσκετ
 - Ποδόσφαιρο
- **Είναι σημαντικό το εύρος της κίνησης (Range of Motion - ROM)**
 - Παράδειγμα: Χτύπημα στο βόλεϊμπολ
 - Μεγάλο εύρος κίνησης του χεριού → μεγαλύτερη δύναμη στη μπάλα.
 - (Περισσότερα στην περιστροφική κίνηση)

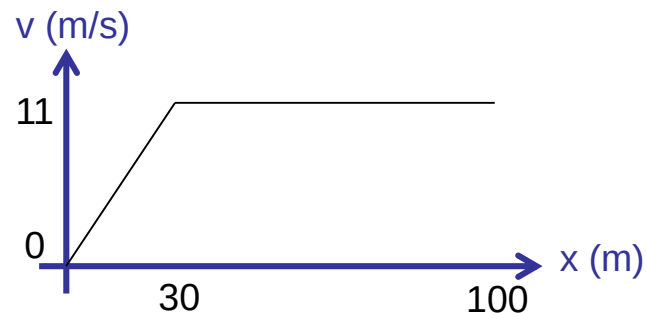


3. Γραμμική Κίνηση (Linear Motion)



• Παράδειγμα: Αγώνας 100 m

- Ένας αθλητής φτάνει στο μέγιστο της ταχύτητας του γύρω στα 30m από την αφετηρία
- Αν αυτή η ταχύτητα είναι 11m/s και ο αθλητής έχει βάρος 80 kg, σε πόσο χρόνο θα συμπληρώσει τα 100m και πόση είναι η δύναμη για να φτάσει την επιτάχυνση που χρειάζεται;



$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \frac{1}{2}(v_1 + 0)t_1 \Rightarrow t_1 = \frac{2 \times 30m}{11m/s} = 5.45s \\ x_2 &= v_1 t_2 \Rightarrow t_2 = \frac{70m}{11m/s} = 6.36s \end{aligned} \right\} \Rightarrow t = t_1 + t_2 = 11.81s$$

$$\left. \begin{aligned} F &= ma \\ v_1 &= at_1 \end{aligned} \right\} \Rightarrow F = \frac{mv_1}{t_1} = \frac{80kg \cdot 11m/s}{5.45s} = 161N$$

Για σταθερή α

$$F = ma$$

$$v = v_0 + a\Delta t$$

$$\Delta x = v_0 \Delta t + \frac{1}{2} a \Delta t^2$$

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x$$

$$\Delta x = \frac{1}{2}(v + v_0)\Delta t$$

3. Γραμμική Κίνηση (Linear Motion)



• Παράδειγμα: Σουτ!!!

- Ένας ποδοσφαιριστής θέλει να βάλει τη μπάλα στο αντίπαλο τέρμα, που βρίσκεται 10 m μακριά, αλλά ταυτόχρονα και να την περάσει πάνω από τον τερματοφύλακα ο οποίος επιχειρεί έξοδο και βρίσκεται τώρα στα 5 m και έχει ύψος 1.85m.
- Ποια γωνία και ποια αρχική ταχύτητα πρέπει να έχει η μπάλα;

$$\frac{R}{h} = \frac{\frac{v_0^2}{g} \sin(2\theta)}{\frac{v_0^2}{2g} \sin^2(\theta)} = \frac{2 \sin(2\theta)}{\sin^2(\theta)} = \frac{4 \sin(\theta) \cos(\theta)}{\sin(\theta)} = \frac{4}{\tan(\theta)} \Rightarrow$$

$$\tan(\theta) = \frac{4h}{R} = \frac{4 \times 1.85}{10} \Rightarrow \theta = 36.5 \text{ deg}$$

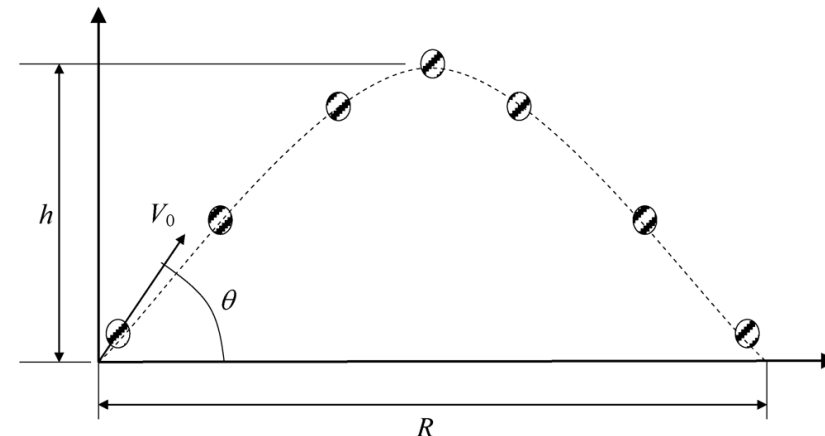
$$v_0 = \sqrt{\frac{Rg}{\sin(2\theta)}} = \sqrt{\frac{10 \times 9.81}{\sin(73)}} = 10.13 \text{ m/s}$$

Για παραβολική τροχιά

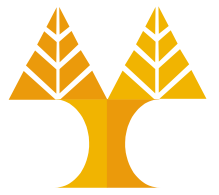
$$R = \frac{v_0^2}{g} \sin(2\theta)$$

$$h = \frac{v_0^2}{2g} \sin^2(\theta)$$

$$t = \frac{2v_0}{g} \sin(\theta)$$



4. Περιστροφική Κίνηση (Angular Motion)



- **Περιστροφική κίνηση**

- Παράγεται από την εφαρμογή μιας δύναμης σε κάποια απόσταση από τον άξονα (υπάρχει ροπή)
- Παράδειγμα:
 - Καταδύσεις, Πατινάζ

- **Η ροπή προκαλεί περιστροφή σε ένα αντικείμενο**

- $\tau = r \times F = |r||F|\sin(\theta) = I a$
 - τ : ροπή
 - a : γωνιακή επιτάχυνση ($\Delta\omega/\Delta t$)
 - I : περιστροφική αδράνεια (rotational inertia)



4. Περιστροφική Κίνηση (Angular Motion)



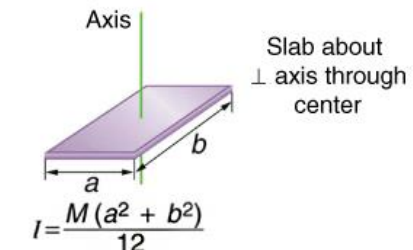
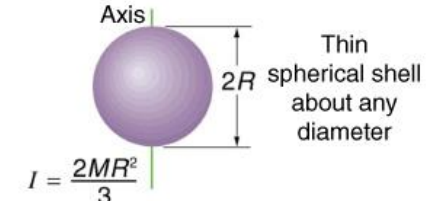
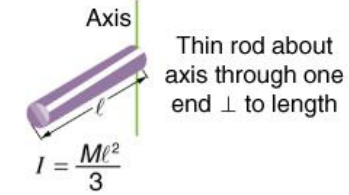
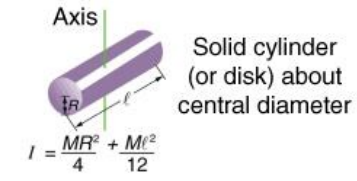
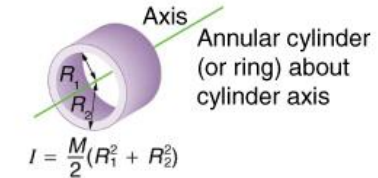
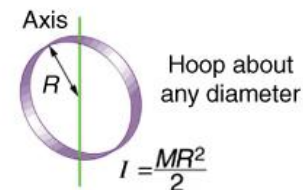
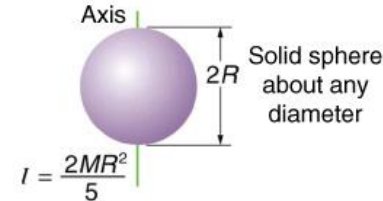
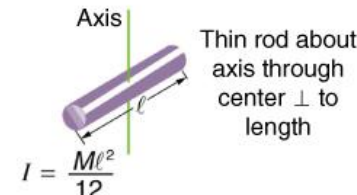
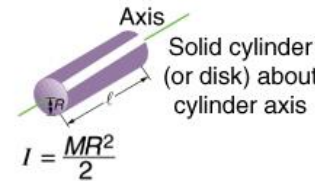
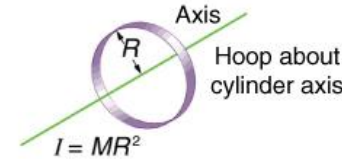
- **Αν δεν εφαρμοστεί ροπή, η στροφορμή (angular momentum, L) διατηρείται**

- Ο αθλητής (ή ένα αντικείμενο) βρίσκεται στον αέρα ή γλιστρά χωρίς τριβή (π.χ. στον πάγο)



- $L = I \omega$

- I : περιστροφική αδράνεια
- ω : γωνιακή ταχύτητα ($\Delta\theta/\Delta t$)



4. Περιστροφική Κίνηση (Angular Motion)



• Παράδειγμα: Τένις

- Ένας παίκτης του τένις προσπαθεί να χτυπήσει την μπάλα. Ξεκινώντας με τη ρακέτα της σε γωνία 100° αριστερόστροφα από το δίκτυο και περιστροφή αριστερόστροφα γύρω από τον διαμήκη άξονά της με ταχύτητα $30^\circ/\text{s}$, αρχίζει να εφαρμόζει μια σταθερή γωνιακή επιτάχυνση στην ρακέτα.
- Ποιο είναι το μέγεθος και η κατεύθυνση (δεξιόστροφα ή αριστερόστροφα) της γωνιακής επιτάχυνσης που θα της επέτρεπε να χτυπήσει την μπάλα 200 ms αργότερα με τη ρακέτα σε γωνία 5° δεξιόστροφα ως προς το δίκτυο με δεξιόστροφη περιστροφή;

Για σταθερή a

$$\omega_1 = \omega_0 + a\Delta t$$

$$\Delta\theta = \omega_0\Delta t + \frac{1}{2}a\Delta t^2$$

$$\omega_1^2 = \omega_0^2 + 2a\Delta\theta$$

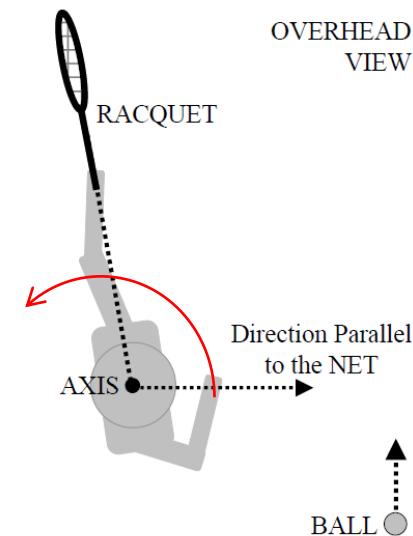
$$\Delta\theta = \frac{1}{2}(\omega_1 + \omega_0)\Delta t$$

$$\Delta\theta = \frac{1}{2}(\omega_1 + \omega_0)\Delta t \Rightarrow \omega_1 = \frac{2\Delta\theta}{\Delta t} - \omega_0$$

$$\omega_1 = \omega_0 + a\Delta t$$

$$a = \frac{2\Delta\theta - 2\omega_0\Delta t}{\Delta t^2} = \frac{2 \times 105 + 2 \times 30 \times 0.2}{0.2^2} = 5550^\circ / \text{s}^2$$

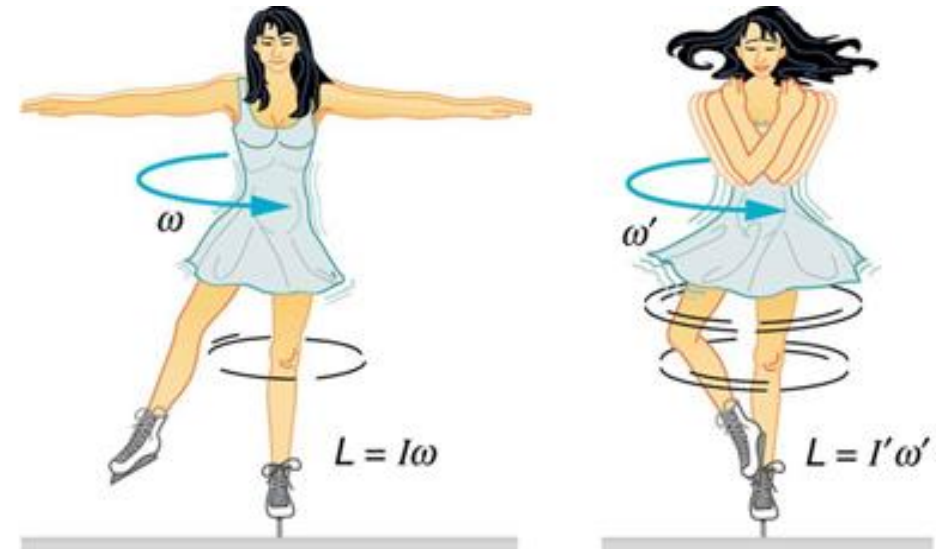
Η κατεύθυνση της a θα είναι δεξιόστροφη



4. Περιστροφική Κίνηση (Angular Motion)



- Παραδείγματα Διατήρησης της Στροφορμής
- Πατινάζ στον Πάγο (Ice-Skating)
 - Ο παγοδρόμος αρχίζει να περιστρέφεται με τα χέρια ανοικτά και ξαφνικά τα κλείνει
 - Η ταχύτητα περιστροφής (γωνιακή ταχύτητα) του παγοδρόμου αυξάνεται
 - Εξήγηση
 - Όταν ο αθλητής φέρνει τα χέρια πιο κοντά στο σώμα, μειώνει την απόσταση μέρους της μάζας του από τον άξονα περιστροφής → μειώνεται η περιστροφική αδράνεια
 - Μια και η στροφορμή διατηρείται σταθερή → πρέπει να αυξηθεί η γωνιακή ταχύτητα για να αντισταθμίσει τη μείωση



<https://www.youtube.com/watch?v=FmnkQ2ytIO8>

4. Περιστροφική Κίνηση (Angular Motion)



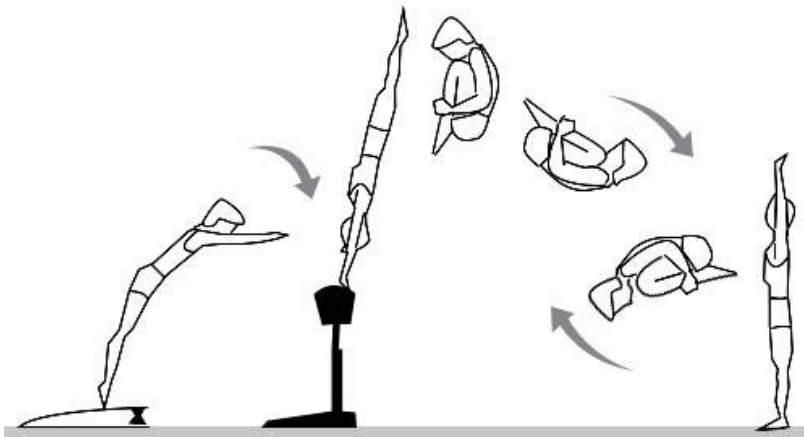
- Παραδείγματα Διατήρησης της Στροφορμής
- Κατάδυση
 - Μετά την εκτίναξη από τον βατήρα, ο δύτης πρώτα μαζεύει το σώμα του και μετά ανοίγει ακριβώς πριν πέσει στο νερό
 - Μαζεμένο σώμα $\rightarrow$ μεγαλύτερη γωνιακή ταχύτητα
 - Ανοιγμένο σώμα $\rightarrow$ μεγαλύτερη περιστροφική αδράνεια $\rightarrow$ μικρότερη γωνιακή ταχύτητα



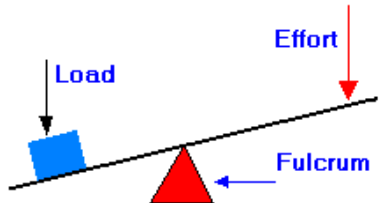
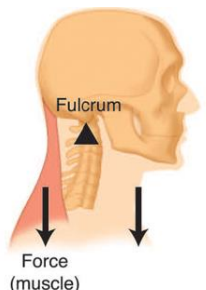
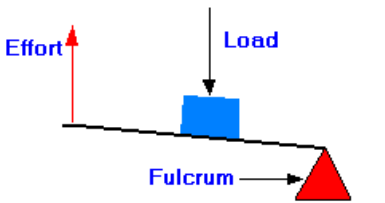
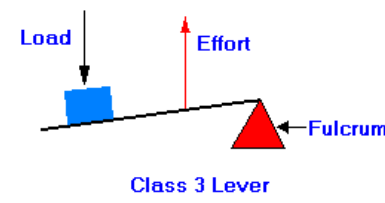
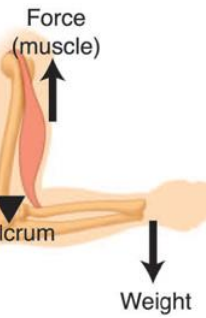
4. Περιστροφική Κίνηση (Angular Motion)



- Παραδείγματα Διατήρησης της Στροφορμής
- Γυμναστική
 - Με το άνοιγμα των χεριών, οι αθλητές μεγαλώνουν την περιστροφική αδράνεια και μειώνουν την γωνιακή ταχύτητα



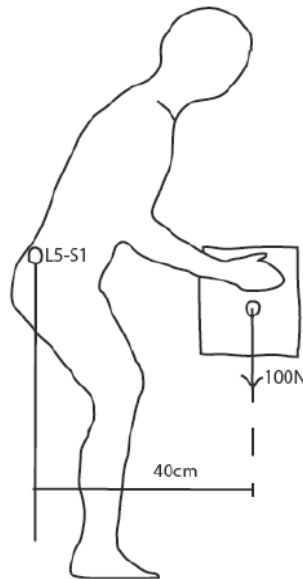


Είδος	Σχήμα	Χαρακτηριστικά	Παραδείγματα	
Πρώτου	Το υπομόχλιο βρίσκεται μεταξύ της δύναμης και του βάρους  Class 1 Lever	Λιγότερη δύναμη Π.χ. Τραμπάλα Λοστός Σφυρί που ξεκαρφώνει το καρφί		
Δεύτερου	Το βάρος βρίσκεται μεταξύ του υπομοχλίου και της δύναμης  Class 2 Lever	Λιγότερη δύναμη Π.χ. Καροτσάκι Άνοιγμα πόρτας από το χερούλι Κωπηλασία		
Τρίτου	Η δύναμη βρίσκεται μεταξύ του υπομοχλίου και του βάρους  Class 3 Lever	Περισσότερη δύναμη, μεγαλύτερη ταχύτητα και μεγαλύτερο εύρος κίνησης Π.χ. Φτυάρι Οι περισσότεροι μύες στο σώμα		



- **Παράδειγμα:**

- Κατά την ανύψωση αντικειμένων, όπως κουτιά, όταν στεκόμαστε όρθιοι, οι μύες της πλάτης πρέπει να αντισταθμίσουν το φορτίο που παράγεται από το βάρος του κουτιού.
- Πόση δύναμη πρέπει να παράγουν οι μύες της πλάτης (με βραχίονα προσπάθειας 6 cm από το νωτιαίο υπομόχλιο (L5-S1)) για να διατηρηθεί το σώμα σε θέση ανύψωσης όταν κρατούμε ένα κουτί με ένα βάρος 100N με τα χέρια απλωμένα, έτσι ώστε το κουτί είναι 40 εκατοστά μακριά από το νωτιαίο υπομόχλιο;
- Πόσο μακριά από το σώμα θα πρέπει κάποιος να σηκώσει ένα κουτί, αν θέλει να μειώσει τη δύναμη που παράγεται από τον μυ κατά 30%;



$$F_{back} d_{back} = F_{box} d_{box} \Rightarrow F_{back} = \frac{100N 40cm}{6cm} = 666N$$

$$F_{back} = 0.3 \frac{100N 40cm}{6cm} = \frac{100Nd}{6cm} \Rightarrow d = 0.3 \times 40 = 12cm$$

Διατήρηση της Ενέργειας



- **Η αρχή της διατήρησης της Ενέργειας**

- Ενέργεια δεν παράγεται ή καταστρέφεται αλλά μόνο μεταβάλλεται από μια μορφή σε άλλη και παράγει έργο

- **Είδη Ενέργειας**

- Δυναμική
- Κινητική
 - Μεταφορική
 - Περιστροφική



$$E_{\text{gravitational}} = mgh$$

$$E_{\text{kinetic}} = E_{\text{translational}} + E_{\text{rotational}} = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$$

$$\Delta E = \text{Work}$$

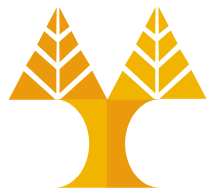
Στοιχεία Κινησιολογίας



- **Γιατί δεν υπάρχουν πιο πολλά ρομπότ που να περπατούν στα δύο πόδια;**
 - Επειδή είναι ΠΟΛΥ δύσκολο!!!
- **Δυναμικό Περπάτημα (Dynamic Walking)**
 - Εκατοντάδες συγκεκριμένες κα καλά συντονισμένες κινήσεις
 - Συμμετέχουν σχεδόν όλες οι κλειδώσεις από το κεφάλι στα δάκτυλα
 - Κάθε βήμα δεν περιλαμβάνει μόνο την προώθηση του σώματος προς τα εμπρός, αλλά και τη διατήρηση της ισορροπία
 - Όταν περπατούμε είναι σαν να χάνουμε την ισορροπία μας και να πέφτουμε μπροστά
 - Ακριβώς πριν χάσουμε την ισορροπία μας, βάζουμε ένα πόδι μπροστά και στηρίζουμε το σώμα μας
- **Τρέξιμο (Running)**
 - Είναι ακόμα πιο δύσκολο μια και για κάποιο χρόνο και τα δύο μας πόδια βρίσκονται στον αέρα!



Honda Asimo



- Το **πρώην** καλύτερο δίποδο ρομπότ





<https://spectrum.ieee.org/robotics/humanoids/how-boston-dynamics-is-redefining-robot-agility>