

# ΦΥΣΙΚΗ Β ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ

## Ενότητα 3: Δυνάμεις

### Η έννοια της Δύναμης

Στη Φυσική δεχόμαστε ότι πάνω σε ένα σώμα μπορεί να επιδράσει κάποιο άλλο σώμα του περιβάλλοντος του. Στην ορολογία της Φυσικής, η επίδραση που δέχεται ένα σώμα από κάποιο άλλο, λέγεται **δύναμη**. Παραδείγματα δυνάμεων είναι η δύναμη του βάρους που ασκεί η Γη σε κάποιο σώμα. Η δύναμη του τεντωμένου ελατηρίου που ασκεί στο χέρι μας καθώς το τραβάμε. Η δύναμη που ασκεί η ρακέτα στο μπαλάκι καθώς το κτυπά.

### Δύναμη και κίνηση

Ένας ποδοσφαιριστής για να στείλει στα δίκτυα την μπάλα, καθώς εκτελεί πέναλτι, κτυπά δυνατά την ακίνητη μπάλα με το πόδι του και αυτή φεύγει με ταχύτητα. Εδώ ο ποδοσφαιριστής ασκεί δύναμη με το πόδι του στην μπάλα για να μπορέσει να φύγει με ταχύτητα. Ο τερματοφύλακας αποκρούει την μπάλα με τα χέρια του αλλάζοντας την κατεύθυνση της ταχύτητας. Εδώ ο τερματοφύλακας ασκεί δύναμη με τα χέρια του στην μπάλα για να αλλάξει την κατεύθυνση της.

Εδώ βλέπουμε ότι η δύναμη προκαλεί αλλαγή της κινητικής κατάστασης του σώματος. Η μεταβολή της κινητικής κατάστασης ενός σώματος ή απλά μεταβολή της κίνησης του, εκδηλώνεται είτε ως μεταβολή του μέτρου της ταχύτητας που έχει, είτε ως μεταβολή της κατεύθυνσης της ή ταυτόχρονα και τα δυο.

Κάθε φορά που η ταχύτητα ενός σώματος αλλάζει (αλλάζει το μέτρο ή η κατεύθυνση ή και τα δυο) τότε συμπεραίνουμε ότι πάνω στο σώμα ασκείται δύναμη που προκαλεί αυτή τη μεταβολή.

Πρέπει να καταλάβουμε ότι για να αλλάξει η κινητική κατάσταση ενός σώματος μπορεί να γίνει μόνο όταν ασκηθεί στο σώμα η κατάλληλη δύναμη.

*Συμπέρασμα: Οι δυνάμεις προκαλούν μεταβολή στην (στιγμιαία) ταχύτητα των σωμάτων πάνω στα οποία δρουν.*

### Δύναμη και παραμόρφωση

Μπορούμε να **παραμορφώσουμε** ένα αντικείμενο επιδρώντας σε αυτό με αποτέλεσμα αυτό να αλλάζει σχήμα. Για παράδειγμα, με τα χέρια μας παραμορφώνουμε ένα κομμάτι πλαστελίνη, καθώς και όταν τραβώντας με το χέρι μας ένα ελατήριο το παραμορφώνουμε. Καταλαβαίνουμε εδώ, ότι η δύναμη που ασκούμε προκάλεσε την παραμόρφωση του σώματος.

*Συμπέρασμα: Οι δυνάμεις προκαλούν παραμόρφωση στα σώματα πάνω στα οποία ενεργούν.*

## Δυνάμεις και αλληλεπιδράσεις

Ένας ορισμός για την δύναμη μπορεί να είναι ο εξής: *Δύναμη είναι το αίτιο που προκαλεί μεταβολή στην κινητική κατάσταση των σωμάτων ή την παραμόρφωση τους.*

Όσο και να ψάξουμε δεν υπάρχει σώμα που μόνο να ασκεί δύναμη(εις) και σώμα που μόνο να δέχεται δύναμη(εις). Οι δυνάμεις εμφανίζονται ανά δύο μεταξύ των σωμάτων, δηλαδή τα σώματα **αλληλοεπιδρούν** μεταξύ τους.

*Αυτό σημαίνει ότι αν ένα σώμα A ασκεί μια δύναμη σε ένα άλλο σώμα B τότε και το σώμα B ασκεί δύναμη στο σώμα A.*

*Παραδείγματα αλληλεπίδρασης σωμάτων.* Ο ποδοσφαιριστής με το πόδι του ασκεί δύναμη στην μπάλα, όταν εκτελεί πέναλτι, αλλά και η μπάλα ασκεί δύναμη στο πόδι του ποδοσφαιριστή γι' αυτό νιώθει πόνο. Ο Ήλιος ασκεί ελκτική δύναμη στη Γη και η Γη ασκεί ελκτική δύναμη στον Ήλιο.

## Κατηγορίες δυνάμεων

Είπαμε ότι δύναμη είναι η επίδραση ενός σώματος σε ένα άλλο και ότι τα σώματα αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους ασκώντας δύναμη το ένα το άλλο. Τα σώματα αυτά που αλληλοεπιδρούν μπορεί να βρίσκονται σε επαφή ή σε απόσταση. Έτσι ανάλογα με τον τρόπο αλληλεπίδρασης, οι δυνάμεις χωρίζονται σε δυο κατηγορίες:

**A. Δυνάμεις επαφής** που δρουν όταν τα σώματα ασκούν δυνάμεις και είναι σε επαφή.

Παραδείγματα δυνάμεων επαφής:

- 1] Οι δυνάμεις που ασκούν τα τεντωμένα σκοινιά ή τα ελατήρια σε σώματα που είναι δεμένα μαζί τους.
- 2] Οι δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ σωμάτων που συγκρούονται.
- 3] Η δύναμη τριβής ανάμεσα σε δυο επιφάνειες που βρίσκονται σε επαφή.
- 4] Οι δυνάμεις που ασκούν τα υγρά στα τοιχώματα των δοχείων που βρίσκονται.

**B. Δυνάμεις από απόσταση** δρουν όταν τα σώματα όταν ασκούν δυνάμεις, δεν είναι σε επαφή και βρίσκονται σε απόσταση μεταξύ τους. Παραδείγματα δυνάμεων από απόσταση:

- 1] Οι βαρυτικές δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ των ουράνιων σωμάτων. Π.χ. η δύναμη που ασκεί ο Ήλιος στη Γη. Οι δυνάμεις βάρους που ασκεί η Γη σε σώματα που βρίσκονται στην επιφάνεια της ή σε κάποιο ύψος.
- 2] Οι ηλεκτρικές δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ φορτισμένων σωμάτων.
- 3] Οι μαγνητικές δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ μαγνητών και μεταξύ μαγνήτη και σιδερένιων αντικειμένων.

## Μέτρηση της δύναμης

Η δύναμη είναι φυσικό μέγεθος διότι μπορεί να μετρηθεί. Για να μετρήσουμε μια δύναμη θα χρησιμοποιήσουμε τα αποτελέσματα που προκαλεί στα σώματα που δρα.

Γνωρίζουμε ότι η δύναμη που ασκείται σε ένα σώμα έχει ως αποτέλεσμα να μεταβάλλει την ταχύτητα του. Μονάδα μέτρησης της Δύναμης στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων είναι το 1N (Newton – Νιούτον). Δύναμη μέτρου 1N είναι η δύναμη που ασκείται σε ένα σώμα μάζας 1Kg και του μεταβάλλει την ταχύτητα κατά 1m/s μέσα σε διάρκεια χρόνου 1s.

Έτσι για να μετράμε δυνάμεις θα μπορούσαμε να μετράμε μεταβολές της ταχύτητας του σώματος στο οποίο ενεργεί, αλλά αυτός ο τρόπος είναι πολύ δύσχρηστος και έτσι για τη μέτρηση μιας δύναμης διαλέγουμε την μέθοδο της μέτρησης της παραμόρφωσης (επιμήκυνσης) του ελατηρίου στο οποίο ασκείται.

Θα πούμε περισσότερα αφού περιγράψω τη σχέση (νόμο) μεταξύ της επιμήκυνσης ενός ελατηρίου και της δύναμης που την προκαλεί. Εκτελούμε το ακόλουθο πείραμα: Σε ένα ελατήριο το οποίο είναι αναρτημένο κατακόρυφα σε ακλόνητο σημείο, κρεμάμε μια μάζα η οποία ασκεί δύναμη  $F$  στο ελατήριο. Μετράμε την επιμήκυνση του ελατηρίου η οποία είναι  $x$ . Στη συνέχεια κρεμάμε διπλάσια μάζα στο ελατήριο, που ασκεί διπλάσια δύναμη  $2F$ . (Στη Φυσική αποδεικνύεται ότι το βάρος ενός σώματος είναι ανάλογο με τη μάζα του). Βλέπουμε ότι το ελατήριο επιμηκώνεται διπλάσια απόσταση  $2x$ . Στη συνέχεια κρεμάμε τριπλάσια μάζα που ασκεί τριπλάσια δύναμη στο ελατήριο  $3F$ . Βλέπουμε ότι η επιμήκυνση του ελατηρίου τριπλασιάζεται σε  $3x$ .

Γενικεύοντας καταλήγουμε στο συμπέρασμα το οποίο διατύπωσε το 17<sup>ο</sup> αιώνα ο Άγγλος φυσικός Robert Hook: *Η επιμήκυνση  $x$  ενός ελατηρίου είναι ανάλογη της δύναμης  $F$  που ασκείται πάνω σ' αυτό. Δηλαδή:*

$$F = K \cdot x$$

Η σταθερά αναλογίας  $K$  είναι χαρακτηριστική σταθερά και έχει συγκεκριμένη τιμή για κάθε ελατήριο.

Έτσι για να μετρήσουμε μια δύναμη, μετράμε την επιμήκυνση που προκαλεί όταν ασκηθεί σε ελατήριο και μ' αυτό τον τρόπο, κατασκευάζουμε όργανα μέτρησης δυνάμεων που λέγονται **δυναμόμετρα**.

## Διανυσματικός χαρακτήρας της δύναμης

Ο ποδοσφαιριστής που εκτελεί πέναλτι, κτυπά με το πόδι του την ακίνητη μπάλα με συγκεκριμένο τρόπο, ώστε να κινηθεί με την κατεύθυνση της ταχύτητας που θέλει. Επειδή η ταχύτητα είναι διανυσματικό μέγεθος, που εκτός από μέτρο έχει και κατεύθυνση, καταλαβαίνουμε ότι και η δύναμη που προκαλεί τη μεταβολή της ταχύτητας θα είναι και αυτή διανυσματικό μέγεθος.

Η δύναμη ως διανυσματικό μέγεθος χαρακτηρίζεται από:

- 1] Το **μέτρο** που δείχνει πόσο μεγάλη είναι η δύναμή και εκφράζεται σε Newton.
- 2] Την **κατεύθυνση (διεύθυνση και φορά)** που δείχνει προς τα που ενεργεί η δύναμη.
- 3] Το **σημείο εφαρμογής** που δείχνει σε ποιο σημείο του σώματος ενεργεί η δύναμη.

Η δύναμη παριστάνεται με διάνυσμα, που δεν είναι τίποτε άλλο από ένα βέλος (ένα ευθύγραμμο τμήμα που το ένα άκρο του το έχουμε ονομάσει αρχή και το άλλο τέλος). Το μήκος του διανύσματος είναι ανάλογο του μέτρου της δύναμης, δηλαδή σχεδιάζουμε το διάνυσμα σε κατάλληλη κλίμακα. Έτσι αν εκλέξουμε αυθαίρετα 1cm να αντιστοιχεί σε 1N, τότε μια δύναμη μέτρου 6N παριστάνεται με ένα διάνυσμα μήκους 6cm.

*Εκτελούμε τα παρακάτω πειράματα:* Έχουμε ένα αυτοκινητάκι που κινείται με μπαταρίες και το αφήνουμε να κινείται ευθύγραμμα. Με ένα νήμα που το δένουμε στο πίσω μέρος, του ασκούμε δύναμη παράλληλη και αντίθετη με την κίνηση του, δηλαδή στην ταχύτητα

του. Παρατηρούμε ότι το αυτοκινητάκι θα συνεχίσει να κινείται ευθύγραμμα αλλά με μειούμενη ταχύτητα μέχρι να σταματήσει. **Συμπέρασμα:** Μια δύναμη που ασκείται με την ίδια διεύθυνση με τη ταχύτητα του σώματος, προκαλεί μεταβολή στην ταχύτητα μόνο στο μέτρο της.

Στο ίδιο αυτοκινητάκι που κινείται, δένουμε ένα νήμα πάνω σε αυτό στο πλάι και το άλλο το δένουμε σταθερά κάπου στο πάτωμα. Παρατηρούμε ότι το αυτοκινητάκι κάνει κυκλική κίνηση τέτοια ώστε η δύναμη που του ασκείται από το νήμα είναι κάθετη στην ταχύτητα του. **Συμπέρασμα:** Μια δύναμη που ασκείται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι κάθετη στην ταχύτητα του σώματος, προκαλεί μεταβολή στην ταχύτητα μόνο στην κατεύθυνση της.

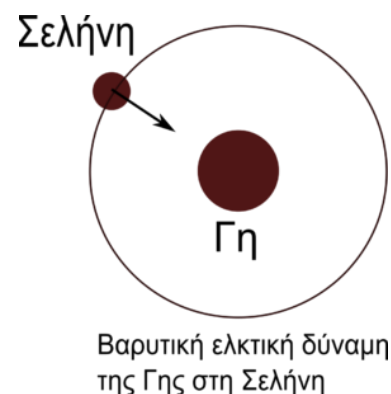
## Δυο σημαντικές δυνάμεις στον κόσμο

### Βαρυτική δύναμη.

Εκτελούμε το εξής πείραμα: Από κάποιο ύψος αφήνουμε να πέσει ένα κέρμα. Παρατηρούμε ότι θα πέσει στη Γη με διαρκώς αυξανόμενη ταχύτητα. Εκτελούμε και ένα άλλο πείραμα: ρίχνουμε ένα κέρμα προς τα πάνω. Παρατηρούμε ότι η ταχύτητα του κέρματος θα μειώνεται έως φτάσει το μέγιστο ύψος και από εκεί θα πέσει, με ταχύτητα διαρκώς αυξανόμενη ταχύτητα. Και στις δυο αυτές περιπτώσεις κατά την κίνηση του κέρματος έχουμε μεταβολή της κινητικής κατάστασης του.

Σύμφωνα με τον Νεύτωνα, κάποιο αίτιο θα προκαλεί αυτή τη μεταβολή. Αυτό το αίτιο είναι η *δύναμη βάρους* που ασκεί η Γη στο κέρμα και γενικότερα σε κάθε σώμα. Την έννοια του βάρους τη συνέλαβε πρώτος ο Νεύτωνας, που όπως λέει η παράδοση όταν, είδε ένα μήλο να πέφτει κάτω καθώς καθόταν κάτω από μια μηλιά.

Η δύναμη του βάρους επεκτείνεται σε σώματα που βρίσκονται πέρα από την επιφάνεια της Γης, μέχρι και στα πιο απομακρυσμένα ουράνια σώματα. Έτσι ο Νεύτωνας διαπίστωσε ότι η Σελήνη περιστρέφεται σχεδόν κυκλικά γύρω από τη Γη, λόγω της βαρυτικής δύναμης που δέχεται από τη Γη. Γενικότερα οι πλανήτες στο ηλιακό μας σύστημα, περιστρέφονται γύρω από τον Ήλιο, λόγω της βαρυτικής δύναμης που δέχονται από αυτόν. Συνεπώς οι κινήσεις των σωμάτων στο σύμπαν καθορίζονται από τις ελκτικές βαρυτικές δυνάμεις.



Η Γη ασκεί βαρυτική δύναμη σε οποιοδήποτε σώμα ανεξάρτητα από την κατάσταση του (στερεά, υγρή, αέρια κατάσταση) και με τον τρόπο που κινείται (ακίνητο στο έδαφος, πέφτει ή ανυψώνετε). Το βάρος είναι *ελκτική δύναμη με διεύθυνση κατακόρυφη* (η ευθεία που ορίζει η ακτίνα της της Γης σ' αυτό τον τόπο) και φορά προς το κέντρο της Γης. Το βάρος που δέχεται ένα σώμα εξαρτάται από τη μάζα του. Τα σώματα μεγάλης μάζας έχουν μεγαλύτερο βάρος από τα σώματα μικρότερης μάζας που βρίσκονται στον ίδιο τόπο. Επίσης το βάρος ενός σώματος εξαρτάται από την απόσταση του από το κέντρο της Γης. Έτσι καθώς ένα σώμα ανεβαίνει σε υψόμετρο, η βαρυτική δύναμη που δέχεται από τη Γη μειώνεται. Το βάρος ενός σώματος εξαρτάται και από τη μάζα του πλανήτη που το προκαλεί. Έτσι στην επιφάνεια της Σελήνης ένα σώμα έχει βάρος ίσο με το 1/6 του βάρους

που το ίδιο σώμα έχει στην επιφάνεια της Γης. Πράγματι αυτό οφείλεται στο ότι η Σελήνη έχει μικρότερη μάζα από τη Γη και έτσι ασκεί μικρότερη ελκτική βαρυτική δύναμη.

## Τριβή

Όταν σπρώχνουμε ένα κιβώτιο στο δάπεδο καταλαβαίνουμε ότι κάποια δύναμη το εμποδίζει να κινηθεί. Επίσης αν ωθήσουμε ένα σώμα να κινηθεί στο δάπεδο, θα παρατηρήσουμε ότι θα κινηθεί με μειούμενη ταχύτητα μέχρι να σταματήσει. Αλλά πιο το αίτιο (δύναμη) προκαλεί αυτή τη μεταβολή της κινητικής κατάστασης; Και στις δυο περιπτώσεις η δύναμη που ασκείται είναι η *τριβή* που αντιστέκεται στην κίνηση του σώματος. Δίνουμε τον ακόλουθο ορισμό:

**Τριβή** ονομάζεται η δύναμη που ασκείται από ένα σώμα σε ένα άλλο, όταν τα δύο σώματα βρίσκονται σε επαφή και το ένα κινείται ή τείνει να κινηθεί σε σχέση με το άλλο.

Η τριβή είναι δύναμη και έχει χαρακτηριστικά δύναμης σαν διανυσματικό μέγεθος και έχει κατεύθυνση (διεύθυνση και φορά) καθώς και μέτρο. Τα χαρακτηριστικά της δύναμης ορίζονται ως εξής:

- 1] Σημείο εφαρμογής, το σώμα πάνω στο οποίο ασκείται
- 2] Διεύθυνση παράλληλη στην επιφάνεια επαφής του σώματος.
- 3] Φορά είναι η αντίθετη στη φορά της κίνησης.

Η τριβή έχει στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων, μονάδα μέτρησης το 1 N

Γνωρίζουμε ότι η δύναμη τριβής αντιτίθεται στην ολίσθηση του σώματος στο οποίο βρίσκεται σε επαφή με ένα άλλο. Καταλαβαίνουμε ότι η τριβή είναι χρήσιμη διότι μας βοηθά να περπατάμε χωρίς να γλιστράμε, όπως αντιθέτως συμβαίνει σε μια πίστα πάγου. Επίσης βοηθά στο αυτοκίνητο να κινείται και αυτό επειδή η τριβή επιτρέπει την κύλιση των τροχών στο έδαφος χωρίς να γλιστράνε, κι έτσι αυτό μπορεί να επιταχύνεται ή να επιβραδύνεται και να στρίβει αλλάζοντας την κατεύθυνση της ταχύτητας του.

## Πως σχεδιάζουμε τις δυνάμεις

Γνωρίζουμε ότι το αίτιο της μεταβολής της κινητικής κατάστασης ενός σώματος είναι η δύναμη. Επομένως για να μπορέσουμε να βρούμε τον τρόπο κίνησης του σώματος αρκεί να βρούμε τις δυνάμεις που ασκούνται σε αυτό και να τις σχεδιάζουμε σωστά. Τα βήματα που ακολουθούμε για το σωστό σχεδιασμό των δυνάμεων είναι:

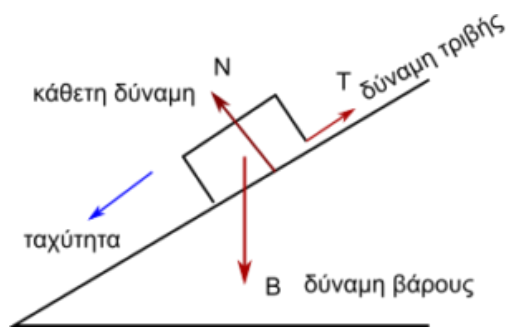
**Πρώτο:** Επιλέγουμε το σώμα που μας ενδιαφέρει. Υπενθυμίζουμε ότι θεωρούμε τα σώματα ως υλικά σημεία.

**Δεύτερο:** Σχεδιάζουμε τις δυνάμεις από απόσταση που ασκούνται στο σώμα. Ένα σώμα το οποίο βρίσκεται στην επιφάνεια της Γης ή σε κάποιο υψόμετρο ενεργεί το βάρος του. Σχεδιάζουμε το βάρος, με σημείο εφαρμογής το κέντρο βάρους του σώματος και διεύθυνση κατακόρυφη προς το κέντρο της Γης.

**Τρίτο:** Σχεδιάζουμε όλες τις δυνάμεις επαφής που ασκούνται στο σώμα.

Για τις δυνάμεις επαφής διακρίνουμε τις περιπτώσεις:

1] Ένα σώμα βρίσκεται σε επαφή πάνω σε ένα άλλο και στο οποίο ασκούνται δυο δυνάμεις όπως περιγράφονται παρακάτω: A) Η *κάθετη δύναμη* που η επιφάνεια ασκεί στο σώμα και είναι κάθετη στην επιφάνεια επαφής και φορά από την επιφάνεια στο σώμα. B) Η *δύναμη τριβής* που είναι η δύναμη στην οποία η επιφάνεια ασκεί στο σώμα αν αυτό ολισθαίνει ή τείνει να ολισθήσει πάνω στην επιφάνεια και είναι παράλληλη σ' αυτή την επιφάνεια.



2] Ένα σώμα βρίσκεται σε επαφή με ένα τεντωμένο νήμα και το σώμα δέχεται δύναμη από το νήμα που ονομάζεται *τάση του νήματος* και έχει διεύθυνση του νήματος και φορά από το σώμα στο νήμα.

3] Ένα σώμα βρίσκεται σε επαφή με ένα ελατήριο, όπου στο σώμα ασκείται δύναμη από το ελατήριο με διεύθυνση ίδια με εκείνη του ελατηρίου. Αν το ελατήριο είναι τεντωμένο τότε η δύναμη ελατηρίου έχει φορά από το σώμα στο ελατήριο και αν είναι συμπιεσμένο η δύναμη ελατηρίου έχει φορά από το ελατήριο στο σώμα. Όταν το ελατήριο είναι στο φυσικό του μήκος δεν ασκεί δύναμη.

## Σύνθεση δυνάμεων (Συνισταμένη)

Σε προηγούμενη ενότητα είπαμε ότι ένα σώμα δέχεται επιδράσεις από τα σώματα του περιβάλλοντος του, που στη γλώσσα της φυσικής λέμε ότι στο σώμα ασκούνται δυνάμεις που προκαλούν τα σώματα του περιβάλλοντος του. Έτσι για να μπορέσουμε να βρούμε τον τρόπο κίνησης του σώματος στο οποίο ασκούνται δύο ή περισσότερες δυνάμεις, θα πρέπει να βρούμε την συνισταμένη τους. Δίνουμε τον ακόλουθο ορισμό:

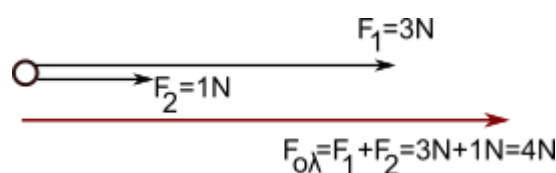
**Συνιστάμενη** δύο ή περισσότερων δυνάμεων που ενεργούν σε ένα σώμα ονομάζεται η δύναμη που επιφέρει τα ίδια αποτελέσματα αν αντικαταστήσει τις δυνάμεις που ασκούνται στο σώμα.

**Σύνθεση δυνάμεων** ονομάζουμε την διαδικασία εύρεσης της συνισταμένης των δυνάμεων που δρουν σε ένα σώμα.

### Σύνθεση δυνάμεων που έχουν την ίδια διεύθυνση

1] **Σύνθεση δυο δυνάμεων  $F_1$  και  $F_2$  που έχουν ίδια κατεύθυνση (ίδια διεύθυνση και ίδια φορά)**

Όταν σε ένα σώμα δρουν δυο δυνάμεις  $F_1$  και  $F_2$  της ίδιας διεύθυνσης (παράλληλες) και της ίδιας φοράς, η συνισταμένη τους έχει την ίδια διεύθυνση και φορά μ' αυτές και μέτρο ίσο με το άθροισμα των δυο δυνάμεων.

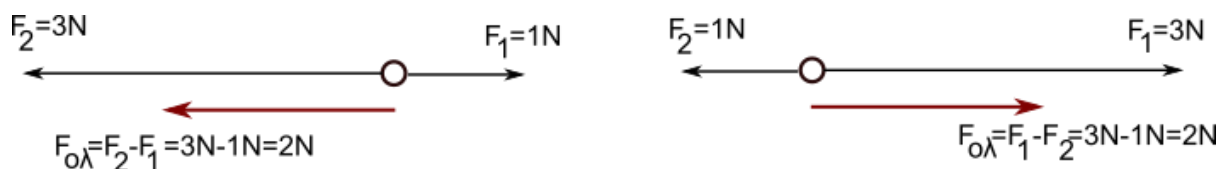


## 2] Σύνθεση δυο δυνάμεων $F_1$ και $F_2$ που έχουν αντίθετες κατευθύνσεις (ίδια διεύθυνση και αντίθετες φορές)

Όταν σε ένα σώμα δρουν δυο δυνάμεις  $F_1$  και  $F_2$  της ίδιας διεύθυνσης (παράλληλες) αλλά έχουν αντίθετες φορές, η συνισταμένη τους έχει την ίδια διεύθυνση μ' αυτές, αλλά φορά τη φορά της δύναμης με το μεγαλύτερο μέτρο και μέτρο ίσο με την διαφορά των μέτρων των δύο δυνάμεων. Δηλαδή:

$$F_{ολ} = F_1 - F_2 \quad \text{εάν ισχύει} \quad F_1 > F_2$$

$$F_{ολ} = F_2 - F_1 \quad \text{εάν ισχύει} \quad F_1 < F_2$$



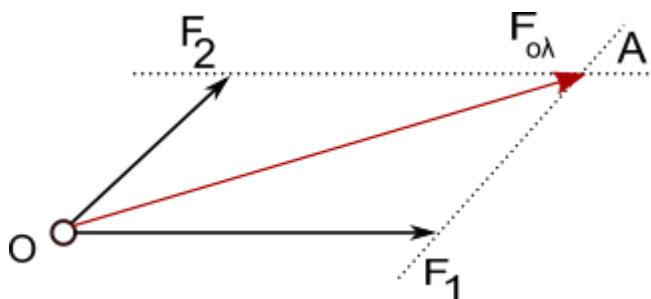
Αν οι δυο δυνάμεις έχουν την ίδια διεύθυνση, αντίθετες φορές αλλά ίσα μέτρα, η συνισταμένη τους είναι η μηδενική δύναμη και οι δυο αυτές δυνάμεις λέγονται **αντίθετες**.



## Σύνθεση δυνάμεων με διαφορετικές διευθύνσεις

Σε προηγούμενη ενότητα υπολογίσαμε τη συνισταμένη δυο δυνάμεων που έχουν την ίδια διεύθυνση, με απλή πρόσθεση των μέτρων τους, αν έχουν την ίδια φορά και απλή αφαίρεση των μέτρων τους, αν έχουν αντίθετες φορές.

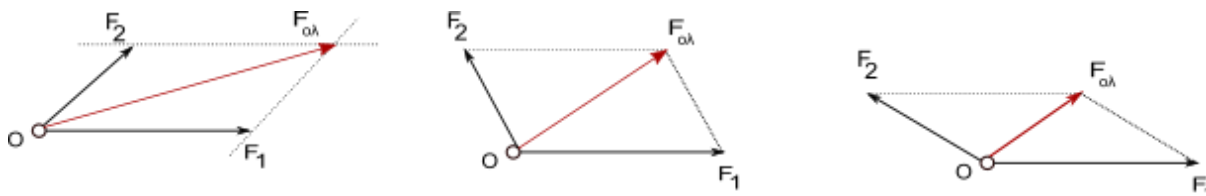
Στην περίπτωση που οι δυνάμεις έχουν διαφορετικές διευθύνσεις, όπως συχνά συμβαίνει στη φύση, η εύρεση της συνισταμένης πραγματοποιείται με τον **κανόνα του παραλληλογράμμου**. Για να υπολογίσουμε την συνισταμένη (σύνθεση δυνάμεων) των δυο δυνάμεων  $F_1$  και  $F_2$  που ασκούνται σε ένα σώμα, που έχουν διαφορετικές διευθύνσεις, ακολουθούμε την παρακάτω διαδικασία:



- 1] Σχεδιάζουμε τις δυνάμεις (διανύσματα)  $F_1$  και  $F_2$  με κοινή αρχή και υπό κλίμακα τέτοια ώστε το μήκος κάθε διανύσματος να είναι ανάλογο του μέτρου της δύναμης.
- 2] Από το τέλος της δύναμης  $F_1$  φέρνουμε παράλληλη ευθεία στην  $F_2$  και από το τέλος της δύναμης  $F_2$  φέρνουμε παράλληλη στην  $F_1$
- 3] Οι δυο παράλληλες τέμνονται στο σημείο A και σχηματίζουν παραλληλόγραμμο μαζί με τα διανύσματα των δυνάμεων.
- 4] Η διαγώνιος του παραλληλογράμμου με αρχή το σημείο O και τέλος το σημείο A, δίνει τη

συνισταμένη των δυνάμεων. Το μέτρο της βρίσκεται μετρώντας (στην ίδια κλίμακα) το μήκος της διαγώνιου ΟΑ και με ένα μοιρογνωμόνιο βρίσκουμε την κατεύθυνση της συνισταμένης, μετρώντας τη γωνία που σχηματίζει με τις δυνάμεις.

Στο παρακάτω σχήμα παίρνουμε μια ιδέα για τη σύνθεση δυο δυνάμεων με διαφορετικές διευθύνσεις. Παρατηρούμε ότι όσο μεγαλώνει η γωνία των δυο δυνάμεων, από 0 μοίρες έως 180 μοίρες, τόσο μειώνεται το μέτρο της συνισταμένης.



Αν οι διευθύνσεις των δυο δυνάμεων που θέλουμε να υπολογίσουμε την συνισταμένη τους είναι κάθετες μεταξύ τους, το μέτρο της συνισταμένης υπολογίζεται με το πυθαγόρειο θεώρημα. Δηλαδή:

$$F_{ολ}^2 = F_1^2 + F_2^2$$

## Δύναμη και ισορροπία – Ισορροπία υλικού σημείου

Με τους νόμους του Νεύτωνα γίνεται κατανοητός ο τρόπος που οι δυνάμεις που ασκούνται σε ένα σώμα, καθορίζουν την κίνηση του. Αλλά ας πάρουμε τα πράγματα από την αρχή.

### Ο πρώτος νόμος του Νεύτωνα

Έχουμε ένα κύβο πάνω σε ένα οριζόντιο δάπεδο και με το χέρι μας του δίνουμε μια ώθηση. Ο κύβος στην αρχή αποκτά κάποια ταχύτητα, κινείται λίγο πάνω στο δάπεδο και έπειτα σταματά. Από όσα είπαμε σε προηγούμενη ενότητα, εδώ έχουμε μεταβολή της κινητικής κατάστασης του κύβου, επομένως μια δύναμη (αίτιο) δρα πάνω του και το κάνει να σταματήσει. Αυτή είναι η δύναμη τριβής που ασκεί η επιφάνεια του δαπέδου στο κύβο με κατεύθυνση αντίθετη της κίνησης του.

Αν λειάνουμε τις επιφάνειες του δαπέδου και του κύβου που έρχονται σε επαφή και επαναλάβουμε το ίδιο πείραμα, παρατηρούμε ότι ο κύβος θα διανύσει μεγαλύτερη



απόσταση και από αυτό καταλαβαίνουμε ότι η δύναμη τριβής θα είναι μικρότερη. Μπορούμε να καταλάβουμε ότι όσο πιο λείες είναι οι επιφάνειες που έρχονται σε επαφή, τόσο πιο μακρύτερα μετακινείται ο κύβος και τόσο πιο μικρή είναι η δύναμη τριβής.

Εκτελώντας ανάλογα πειράματα ο Γαλιλαίος οδηγήθηκε στο συμπέρασμα: *Αν ήταν τέλεια λείο το οριζόντιο δάπεδο, τότε ένας κύβος τέλεια λείος με αρχική ταχύτητα, δεν θα σταματούσε ποτέ αλλά θα συνέχιζε να κινείται με την ίδια σταθερή ταχύτητα σε ευθεία γραμμή.*

Επειδή στη φύση δεν υπάρχουν τέλεια λείες επιφάνειες, ένας θα αναρωτιούνταν αν έχει εφαρμογή αυτό το συμπέρασμα του Γαλιλαίου. Η απάντηση είναι ότι εφαρμόζεται όταν οι δυνάμεις γίνουν πολύ μικρές, όπως σε ένα αεροδιάδρομο οπότε η δύναμη τριβής εκεί είναι πολύ μικρή ή όταν έχουμε απότομες κινήσεις όπου η τριβή ασκείται σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα και η επίδραση της τριβής μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα.

Το 1687 ο Νεύτωνας δημοσίευσε ένα από τα σπουδαιότερα βιβλία της φυσικής, με τίτλο «Μαθηματικές αρχές της φυσικής φιλοσοφίας», στο οποίο διατυπώνονται οι τρεις θεμελιώδεις νόμοι της Κλασικής Μηχανικής. Ο πρώτος νόμος του Νεύτωνα που αποτελεί το πρώτο νόμο της κίνησης, που είναι η ολοκληρωμένη πρόταση του Γαλιλαίου και κάνοντας χρήση της έννοιας της δύναμης διατυπώνεται ως εξής:

*Ένα σώμα παραμένει ακίνητο ή κινείται ευθύγραμμο με σταθερή ταχύτητα, αν δεν ασκείται πάνω του δύναμη ή αν ασκούνται δυνάμεις η συνισταμένη τους είναι μηδενική.*

Διαφορετικά μπορούμε να πούμε ότι, αν σε ένα σώμα δεν επιδρά καμία δύναμη ή αν επιδρούν δυνάμεις που έχουν συνισταμένη μηδέν, τότε αν το σώμα ήταν αρχικά ακίνητο θα παραμείνει ακίνητο ή αν το σώμα κινείται θα συνεχίσει να κινείται με την ίδια σταθερή ταχύτητα. Σύμφωνα μ' αυτόν τον πρώτο νόμο του Νεύτωνα, μπορούμε να καταλάβουμε ότι η δύναμη δεν είναι το αίτιο της κίνησης, αλλά το αίτιο της μεταβολής της κίνησης.

## Η αδράνεια ως χαρακτηριστική ιδιότητα των σωμάτων

Ο πρώτος νόμος του Νεύτωνα συνδέεται με την χαρακτηριστική ιδιότητα των σωμάτων που είναι η αδράνεια, που με απλά λόγια είναι η ιδιότητα της αντίδρασης των σωμάτων στην επιτάχυνση τους και διατυπώνεται ως εξής:

**Αδράνεια** ονομάζουμε τη χαρακτηριστική ιδιότητα των υλικών σωμάτων να έχουν την τάση να διατηρούν την κινητική κατάσταση τους (ταχύτητα) και να αντιστέκονται σε κάθε μεταβολή της.

Ένα παράδειγμα που φαίνεται η αδράνεια των σωμάτων είναι του φρεναρίσματος ενός κινούμενου αυτοκινήτου. Όταν σε ένα κινούμενο αυτοκίνητο ο οδηγός πατήσει το φρένο, οι επιβάτες θα παταχθούν μπροστά, που είναι η εφαρμογή της ιδιότητας της αδράνειας που θέλει τα σώματα να διατηρούν την κινητική τους κατάσταση, που εδώ το αυτοκίνητο μειώνει την ταχύτητα και οι επιβάτες πετάγονται μπροστά για να διατηρήσουν την κινητική κατάσταση τους.

## Ισορροπία υλικού σημείου

Στην καθημερινή γλώσσα, λέμε ότι ένα σώμα ισορροπεί όταν είναι ακίνητο. Στην γλώσσα της φυσικής επεκτείνεται αυτός ο ορισμός στον κάτωθι:

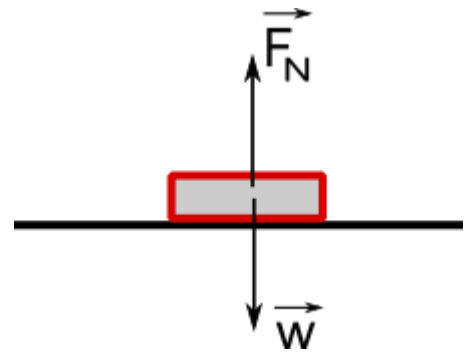
*Ένα σώμα ισορροπεί όταν είναι ακίνητο ή όταν κινείται ευθύγραμμα με σταθερή ταχύτητα.*

Έτσι διότι σύμφωνα με τον πρώτο νόμο του Νεύτωνα οι καταστάσεις της ακινησίας και της ευθύγραμμης ομαλής κίνησης είναι ισοδύναμες. Έτσι ο πρώτος Νόμος του Νεύτωνα περιλαμβάνει τη συνθήκη ισορροπίας ως εξής:

*Για να ισορροπεί ένα σώμα πρέπει η συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται πάνω του να είναι μηδέν.*

$$\vec{F}_{\text{ολική}} = 0$$

*Παράδειγμα:* Ένα βιβλίο που ισορροπεί πάνω σε ένα οριζόντιο τραπέζι, δρουν πάνω του δυο δυνάμεις: **το βάρος του  $w$**  που έχει διεύθυνση κατακόρυφη με φορά προς τα κάτω και η δύναμη **επαφής  $F_N$**  που δέχεται το βιβλίο από το τραπέζι, η οποία είναι κάθετη στην επιφάνεια επαφής και επομένως έχει κατακόρυφη διεύθυνση με φορά προς τα πάνω. (Θεωρούμε ότι δεν ασκούνται δυνάμεις στατικής τριβής).



Αφού το βιβλίο ισορροπεί, τότε η συνισταμένη των δυο αυτών δυνάμεων είναι μηδενική. Επομένως:

$$\vec{F}_{\text{ολική}} = \vec{F}_N + \vec{w} = 0 \quad \text{ή} \quad \vec{F}_N = -\vec{w}$$

Αν πάρουμε την απόλυτη τιμή της τελευταίας σχέσης, βρίσκουμε για τα μέτρα των δυνάμεων:

$$F_N = w$$

## Ισορροπία στην περίπτωση που οι δυνάμεις δεν έχουν την ίδια διεύθυνση

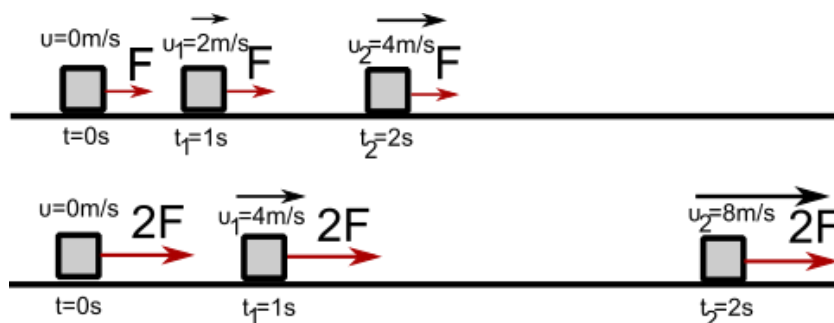
Όταν σε ένα σώμα που ισορροπεί ασκούνται δυνάμεις που δεν έχουν την ίδια διεύθυνση, ισχύει η συνθήκη ισορροπίας  $\vec{F}_{\text{ολική}} = 0$  η οποία μπορεί να γραφεί με διαφορετικό τρόπο:

Ορίζουμε δυο κάθετους άξονες και αναλύουμε όλες τις δυνάμεις σε συνιστώσες πάνω στους άξονες αυτούς. Γράφουμε τη συνθήκη ισορροπίας σε κάθε άξονα ως  $\Sigma F_x = 0$  και  $\Sigma F_y = 0$  όπου τα αθροίσματα αυτά είναι το αλγεβρικό άθροισμα των συνιστωσών των δυνάμεων σε κάθε ένα άξονα ξεχωριστά.

# Δύναμη και μεταβολή της ταχύτητας

Μια δύναμη που ασκείται πάνω σε ένα σώμα ορισμένης μάζας, έχει σαν αποτέλεσμα την μεταβολή της ταχύτητας του. Η σχέση μεταξύ της δύναμης, της μάζας του σώματος και της μεταβολής της ταχύτητας του, εκφράζεται από τον Δεύτερο Νόμο του Νεύτωνα. Για να κατανοήσουμε το νόμο ας πραγματοποιήσουμε τα παρακάτω πειράματα:

*Πείραμα Α:* Σε ένα οριζόντιο λείο επίπεδο (δεν υπάρχουν τριβές) σέρνουμε ένα κύβο ασκώντας του δύναμη  $F$ . Έπειτα σέρνουμε τον ίδιο κύβο ασκώντας διπλάσια δύναμη  $2F$ . Τα αποτελέσματα των μετρήσεων φαίνονται στο σχήμα:



Παρατηρούμε ο κύβος όταν σέρνεται με δύναμη  $F$ , η ταχύτητα του μεταβάλλεται κατά  $2m/s$  σε κάθε δευτερόλεπτο. Ο κύβος όταν σέρνεται με διπλάσια δύναμη  $2F$ , η ταχύτητα του μεταβάλλεται κατά  $4m/s$  κάθε δευτερόλεπτο.

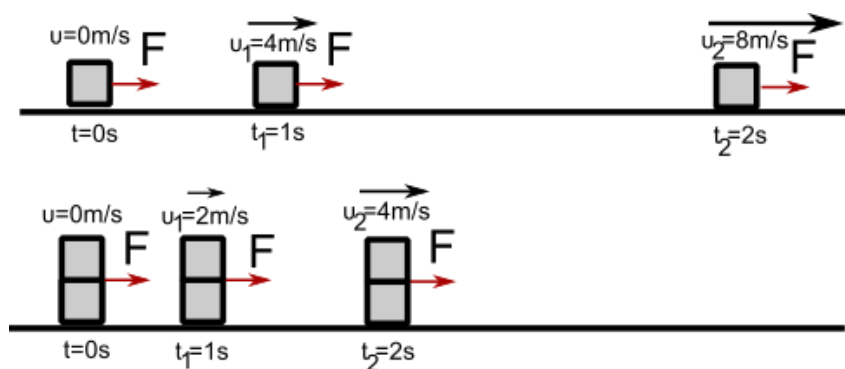
Διαπιστώνουμε ότι όταν στον κύβο ενεργεί δύναμη διπλάσιου μέτρου, η μεταβολή της ταχύτητας του είναι διπλάσια στο ίδιο χρονικό διάστημα. Δηλαδή: Όσο μεγαλύτερη είναι η δύναμη που ασκείται σε ένα συγκεκριμένο σώμα, τόσο μεγαλύτερη μεταβολή της ταχύτητας έχουμε στο ίδιο χρονικό διάστημα.

Ορίζεται ένα φυσικό μέγεθος: ο ρυθμός μεταβολής της ταχύτητας, που εκφράζει πόσο γρήγορα μεταβάλλεται η ταχύτητα ενός σώματος. Αποδείξαμε πειραματικά ότι:

Ο ρυθμός μεταβολής της ταχύτητας ενός σώματος είναι ανάλογος με το μέτρο της δύναμης που ενεργεί πάνω του.

Σε προηγούμενη ενότητα είπαμε ότι κάθε σώμα αντιστέκεται στη μεταβολή της κινητικής κατάστασης δηλαδή στη μεταβολή της ταχύτητας του. Για να το καταλάβουμε ας εκτελέσουμε το ακόλουθο πείραμα.

*Πείραμα Β:* Σε ένα λείο οριζόντιο επίπεδο σέρνουμε ένα κύβο με δύναμη  $F$ . Έπειτα διπλασιάζουμε τη μάζα του κύβου, βάζοντας όμοιο κύβο πάνω του και τους σέρνουμε με την ίδια δύναμη  $F$ . Τα αποτελέσματα των μετρήσεων φαίνονται στο σχήμα:



Παρατηρούμε ότι η ταχύτητα του διπλού κύβου, με τη διπλάσια μάζα, αυξάνεται με ρυθμό ο οποίος είναι ο μισός από το ρυθμό αύξησης της ταχύτητας που είχε ο μονός κύβος με μικρότερη μάζα. Δηλαδή:

*Όσο μεγαλύτερη είναι η μάζα ενός σώματος, τόσο μικρότερη είναι η μεταβολή της ταχύτητας του στο ίδιο χρόνο που προκαλείται από την ίδια δύναμη. Ή με άλλα λόγια:*

*Όσο πιο μεγάλη είναι η μάζα τόσο δυσκολότερα μεταβάλλεται η ταχύτητα του. Επίσης γνωρίζουμε ότι η δυσκολία μεταβολής της κινητικής κατάστασης ενός σώματος εκφράζεται με την αδράνεια του. Επομένως μπορούμε να πούμε ότι:*

*Το μέτρο της αδράνειας ενός σώματος είναι η μάζα του.*

*Αποδείξαμε πειραματικά ότι: Ο ρυθμός μεταβολής της ταχύτητας ενός σώματος στο οποίο ενεργεί καθορισμένη δύναμη είναι αντιστρόφως ανάλογη με τη μάζα του σώματος.*

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω προκύπτει ο Δεύτερος Νόμος του Νεύτωνα, που συνοπτικά μπορεί να εκφραστεί με την πρόταση: *Δύναμη ίση (=) Μάζα επί (X) Ρυθμό μεταβολής της ταχύτητας.*

## Μάζα και Βάρος

Στην καθημερινή γλώσσα χρησιμοποιούμε τις έννοιες μάζα και βάρος χωρίς διάκριση. Ένας λόγος που γίνεται αυτό, είναι ότι για τον προσδιορισμό της μάζας, χρησιμοποιούμε τον ζυγό ισορροπίας, με τον οποίο συγκρίνουμε το βάρος ενός σώματος με το βάρος ενός προτύπου γνωστής μάζας. Επίσης και στα δύο αποδίδουμε την ίδια μονάδα. Π.χ. λέμε ότι το βάρος μου είναι 62 κιλά.

Στη γλώσσα της φυσικής το βάρος και η μάζα είναι εντελώς διαφορετικές έννοιες (φυσικά μεγέθη), που οι βασικές διαφορές τους είναι οι ακόλουθες:

- 1] Η μάζα είναι μονόμετρο μέγεθος, ενώ το βάρος είναι διανυσματικό μέγεθος.
- 2] Η μάζα εκφράζει το μέτρο της αδράνειας ενός σώματος, ενώ το βάρος είναι η βαρυτική δύναμη που δέχεται ένα σώμα από τη Γη.
- 3] Η μάζα ενός σώματος είναι η χαρακτηριστική τιμή του σώματος πάντα η ίδια σε όποιο σημείο στο σύμπαν και αν βρεθεί, ενώ το βάρος εξαρτάται από τον τόπο που βρίσκεται το σώμα.
- 4] Μονάδα μέτρησης της μάζας είναι το 1Kg, ενώ μονάδα μέτρησης του βάρους είναι το 1N.

## Επιτάχυνση της βαρύτητας

Η βαρύτητα σε ένα τόπο χαρακτηρίζεται από ένα μέγεθος που λέγεται *επιτάχυνση της βαρύτητας*, που συμβολίζεται από το γράμμα  $g$ , και έχει χαρακτηριστική τιμή σε κάθε τόπο, καθώς και διαφέρει από τόπο σε τόπο. Έτσι η επιτάχυνση της βαρύτητας στην επιφάνεια της θάλασσας έχει τιμή  $9.81\text{m/s}^2$  ενώ στην επιφάνεια της Σελήνης έχει τιμή  $1,46\text{m/s}^2$

Η σχέση που συνδέει τη μάζα  $m$  και το βάρος  $w$  ενός σώματος σε ένα τόπο με επιτάχυνση της βαρύτητας  $g$ , είναι:

$$w = m \cdot g$$

Για παράδειγμα, για ένα σώμα με μάζα  $1\text{Kg}$  έχει βάρος στην επιφάνεια της θάλασσας ίσο με:

$$W_{\Gamma} = 1\text{Kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2 = 9,81\text{N}$$

Ενώ στην επιφάνεια της Σελήνης έχει βάρος

$$W_{\Sigma} = 1\text{Kg} \cdot 1,46\text{m/s}^2 = 1,46\text{N}$$

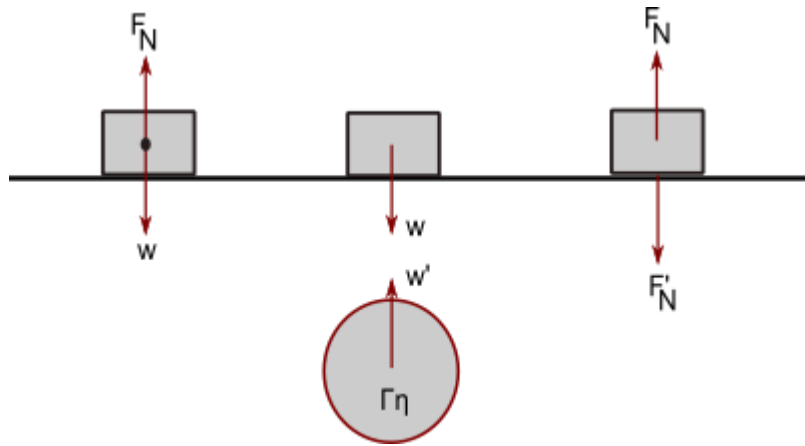
## Δύναμη και αλληλεπίδραση

Πριν από 300 περίπου χρόνια, ο Νεύτωνας διακήρυξε ότι στη φύση υπάρχει συμμετρία και ότι όλες οι δυνάμεις πρέπει να θεωρούνται ως δυνάμεις αλληλεπίδρασης δυο σωμάτων, δηλαδή όταν ένα σώμα ασκεί σε κάποιο άλλο μια δύναμη τότε και το δεύτερο σώμα ασκεί στο πρώτο μια ίσου μέτρου αντίθετη δύναμη.

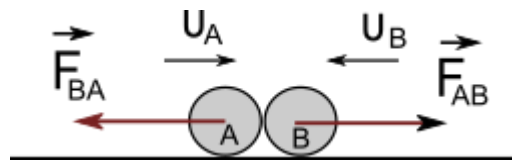
Πράγματι, ο ποδοσφαιριστής που εκτελεί πέναλτι, κλωτσά την μπάλα ασκώντας σ' αυτή δύναμη, με αποτέλεσμα η μπάλα να κινηθεί. Αλλά και η μπάλα ασκεί μια αντίθετη δύναμη στο πόδι και γι' αυτό νιώθει πόνο ο ποδοσφαιριστής. Όταν ο κωπηλάτης σέρνει τα κουπιά σε μια βάρκα, τότε με τα κουπιά ασκεί δύναμη στο νερό προς την αντίθετη που θέλει να κινήσει την βάρκα, ενώ το νερό ασκεί δύναμη στη βάρκα στην κατεύθυνση που θέλει να την κινήσει ο κωπηλάτης. Η Γη ασκεί βαρυτική δύναμη στη Σελήνη αλλά και η Σελήνη ασκεί βαρυτική δύναμη στη Γη.

Κάνοντας τέτοιες παρατηρήσεις ο Νεύτωνας, τις γενίκευσε και διατύπωσε το Τρίτο Νόμο της Μηχανικής, που είναι γνωστός σαν Τρίτος Νόμος του Νεύτωνα: *Όταν ένα σώμα A ασκεί μια δύναμη F σε ένα άλλο σώμα B (δράση) τότε και το σώμα B ασκεί δύναμη -F ίσου μέτρου και αντίθετης κατεύθυνσης στο σώμα A (αντίδραση).*

Σε κάθε δράση αντιστοιχεί μια αντίθετη αντίδραση και στη φύση ποτέ δεν εκδηλώνεται δράση χωρίς την αντιστοιχη αντίδραση. Η δράση και η αντίδραση ασκούνται μεταξύ δυο διαφορετικών σωμάτων. Επίσης δεν έχει νόημα να ρωτάμε ποια είναι η δράση και ποια η αντίδραση. Οι δυνάμεις δράση και αντίδραση εμφανίζονται ταυτόχρονα και συνυπάρχουν. Αυτό το ζευγάρι των δυνάμεων της δράσης και της αντίδρασης ασκούνται πάντοτε σε διαφορετικά σώματα και όχι στο ίδιο σώμα και γι' αυτό δεν έχει νόημα η συνισταμένη τους.



**Παράδειγμα Α:** Ένας κύβος ισορροπεί πάνω σε ένα οριζόντιο τραπέζι. Από τη συνθήκη ισορροπίας προκύπτει ότι η συνισταμένη δύναμη που ασκείται στο κύβο είναι μηδέν. Το βάρος του κύβου  $w$  εξισορροπείται από την κάθετη δύναμη  $F_N$  που το τραπέζι ασκεί στο κύβο. Οι δυνάμεις αυτές έχουν ίσα μέτρα και αντίθετες κατευθύνσεις αλλά δεν αποτελούν ζεύγος δράσης-αντίδρασης. Αυτό επειδή προέρχονται από την αλληλεπίδραση του κύβου με δυο σώματα. Το βάρος είναι η δύναμη που ασκεί η  $\Gamma\eta$  στον κύβο και η κάθετη δύναμη είναι η δύναμη που ασκεί το τραπέζι στον κύβο. Αν θεωρήσουμε το βάρος του κύβου  $w$  ως δράση τότε η αντίδραση της  $w' = -w$  είναι η βαρυτική δύναμη που ασκεί ο κύβος στη  $\Gamma\eta$  και αν θεωρήσουμε την κάθετη δύναμη  $F_N$  που ασκεί το τραπέζι στον κύβο ως δράση τότε η αντίδραση της είναι η δύναμη  $F'_N = -F_N$  ο κύβος ασκεί στο τραπέζι (βλέπε σχήμα)



**Παράδειγμα Β:** Δυο σφαίρες συγκρούονται και η κατάσταση τους τη στιγμή της σύγκρουσης φαίνεται στο σχήμα. Τη στιγμή της κρούσης η σφαίρα Α ασκεί στη σφαίρα Β μια δύναμη  $F_{AB}$ . Στο ίδιο χρονικό διάστημα και η σφαίρα Β ασκεί στη σφαίρα Α μια αντίθετη δύναμη  $F_{BA}$ . Δηλαδή  $\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$ . Οι δυνάμεις αυτές έχουν σχέση δράσης – αντίδρασης.

## Εφαρμογές

**Εφαρμογή Α:** Από ένα ύψος αφήνουμε ελεύθερο ένα σώμα να πέσει στη  $\Gamma\eta$ . Ένας θα έλεγε ότι το σώμα κινείται στη  $\Gamma\eta$  και όχι η  $\Gamma\eta$  προς το σώμα. Ερώτημα γιατί όχι και η  $\Gamma\eta$  προς το σώμα αφού οι δυνάμεις που ασκούνται στο σώμα και στη  $\Gamma\eta$  είναι ίσου μέτρου και αντίθετες;

Όπως περιγράφεται στον δεύτερο νόμο του Νεύτωνα, το αποτέλεσμα μιας δύναμης είναι η μεταβολή της ταχύτητας του σώματος με σταθερά αναλογίας τη μάζα του. Επειδή η  $\Gamma\eta$  έχει πολύ μεγάλη μάζα (άρα και μεγάλη αδράνεια) η ταχύτητα της θα μεταβληθεί απειροελάχιστα ενώ το σώμα, επειδή έχει πολύ μικρή μάζα (πολύ μικρή αδράνεια), θα κινηθεί με μια αισθητή ταχύτητα προς τη  $\Gamma\eta$ .

**Εφαρμογή Β:** Η ανύψωση ενός ελικοπτέρου εξηγείται ως εξής: Καθώς ο έλικας περιστρέφεται, τα μόρια του αέρα σπρώχνονται προς τα κάτω (δράση). Ταυτόχρονα τα μόρια του αέρα σπρώχνουν τον έλικα προς τα πάνω (αντίδραση). Έτσι μ' αυτό τον τρόπο το

ελικόπτερο ανυψώνεται. Παρόμοια είναι η εξήγηση για το πέταγμα των πουλιών και του αεροπλάνου.

**Εφαρμογή Γ:** Η κίνηση ενός πλοίου εξηγείται ως εξής: Καθώς η προπέλα περιστρέφεται, σπρώχνει το νερό προς τα πίσω (δράση). Ταυτόχρονα το νερό σπρώχνει την προπέλα προς τα εμπρός (αντίδραση). Έτσι μ' αυτό τον τρόπο το πλοίο κινείται.