



## 1.2 Δυναμική σε μία διάσταση





**Σ**το πρώτο κεφάλαιο αυτού του βιβλίου μάθαμε να περιγράφουμε απλές κινήσεις διαφόρων σωμάτων. Έτσι παραδείγματος χάρη, μάθαμε να υπολογίζουμε την ταχύτητα που πρέπει να έχει ένα αυτοκίνητο για να διατρέξει μια απόσταση, σε συγκεκριμένο χρόνο ή πόσο χρόνο χρειάζεται ένας δρομέας για να διανύσει τα 100m, αν θεωρήσουμε την κίνησή του ευθύγραμμη ομαλά επιταχυνόμενη.

Όμως το να περιγράφουμε κινήσεις χωρίς ταυτόχρονα να γνωρίζουμε τις αιτίες που τις προκαλούν δεν είναι αρκετό, γιατί δε θα έχουμε πλήρη γνώση των φαινομένων. Έτσι δε θα μπορούμε να ελέγξουμε και να προβλέψουμε τις κινήσεις που μπορούν να εκτελέσουν τα σώματα. Τα ταξίδια στο διάστημα παραδείγματος χάρη, θα ήταν αδύνατο να πραγματοποιηθούν αν δε γνωρίζαμε λεπτομερώς πώς μπορούν να κινηθούν τα διαστημόπλοια.

Σ' αυτό και στο επόμενο κεφάλαιο, θα μελετήσουμε τις δυνάμεις που είναι τα αίτια που προκαλούν τις κινήσεις ή ακριβέστερα τις μεταβολές των κινήσεων των σωμάτων. Επίσης θα αναφερθούμε στο βάρος και τη μάζα των σωμάτων, στην ελεύθερη πτώση τους κ.τ.λ.

Η ενότητα της Φυσικής που μελετά τις δυνάμεις και τα αποτελέσματά τους, λέγεται **Δυναμική**.

Αρχικά θα μελετήσουμε τη σχέση της δύναμης με την κίνηση σε μια μόνο διάσταση, δηλαδή σε ευθεία γραμμή.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.2.1	Η έννοια της δύναμης.....	75
	Ένθετο: Ελαστική παραμόρφωση.....	76
1.2.2	Σύνθεση συγγραμικών δυνάμεων.....	77
1.2.3	Ο πρώτος νόμος του Νεύτωνα.....	82
1.2.4	Ο δεύτερος νόμος του Νεύτωνα ή Θεμελιώδης νόμος της Μηχανικής.....	84
1.2.5	Η έννοια του βάρους.....	87
1.2.6	Η έννοια της μάζας.....	87
	Ένθετο: Η αδρανειακή μάζα αλλάζει.....	89
1.2.7	Η ελεύθερη πτώση των σωμάτων.....	89
1.2.8	Σύγχρονοι τρόποι μελέτης των κινήσεων.....	91
	Ένθετο: Η πειραματική μέθοδος.....	93
	Ένθετο: Μήκος φρεναρίσματος και απόσταση ασφαλείας.....	94
	Ένθετο: Οι ζώνες ασφαλείας και οι αερόσακοι.....	96
	Περίληψη.....	98
	Ερωτήσεις.....	101
	Ασκήσεις-Προβλήματα.....	107



### 1.2.1 Η έννοια της δύναμης

Όλοι οι άνθρωποι έχουν την εμπειρία της δύναμης. Ο καθένας μας έχει σπρώξει ή σύρει αντικείμενα. Για την ώθηση ή την έλξη αντικειμένων απαιτείται η άσκηση δύναμης (Εικ. 1.2.1).

Γενικότερα μια δύναμη που ασκείται σε ένα σώμα είναι δυνατό να το παραμορφώσει, να το σταματήσει όταν κινείται, να το κινήσει όταν είναι ακίνητο ή να του αλλάξει την κίνηση όταν κινείται.

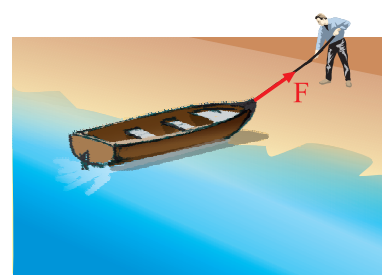
Είναι σημαντικό να τονίσουμε εξ' αρχής ότι για να ασκηθεί μια δύναμη σε ένα σώμα είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός δεύτερου σώματος, που είναι είτε σε επαφή είτε σε κάποια απόσταση από το πρώτο. Η δύναμη είναι αποτέλεσμα αλληλεπίδρασης μεταξύ των δύο σωμάτων.

Πιο αναλυτικά όμως για το θέμα αυτό θα αναφερθούμε στις παραγράφους 1.3.1 και 1.3.2 του επόμενου κεφαλαίου.

Το αποτέλεσμα μιας δύναμης που ασκείται σε ένα σώμα, εξαρτάται τόσο από την τιμή της όσο και από την κατεύθυνσή της. Στην εικόνα 1.2.2α φαίνονται δυνάμεις ίδιου μέτρου αλλά διαφορετικής φοράς, που προκαλούν συσπίρωση και επιμήκυνση του ίδιου ελατηρίου αντίστοιχα, ενώ στην εικόνα 1.2.2β δυνάμεις ίδιας κατεύθυνσης διαφορετικού μέτρου να προκαλούν διαφορετική επιμήκυνση του ίδιου ελατηρίου.

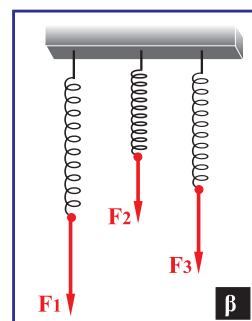
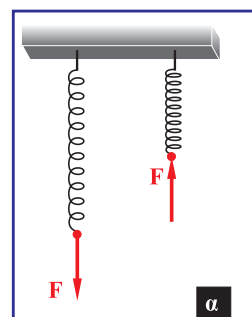
Η δύναμη είναι **διανυσματικό μέγεθος** δηλαδή για τον προσδιορισμό της απαιτείται να γνωρίζουμε την κατεύθυνσή της (διεύθυνση και φορά) και την τιμή της. Η τιμή της δύναμης είναι το στοιχείο εκείνο που καθορίζει πόσο πολύ ή πόσο δυνατά η δύναμη σπρώχνει ή έλκει ένα σώμα.

Η μονάδα μέτρησης της δύναμης στο Διεθνές Σύστημα (S.I.) είναι το 1Newton (Νιούτον) ή **1N**. Η ονομασία προέρχεται από το όνομα του Νεύτωνα (Newton). Τον τρόπο με τον οποίο ορίζεται το 1N θα τον συναντήσουμε στη παράγραφο 1.2.4.



**Εικόνα 1.2.1**

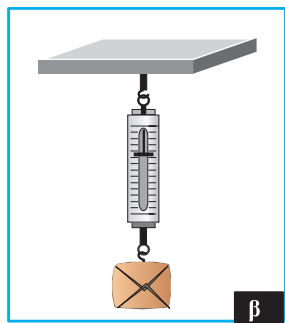
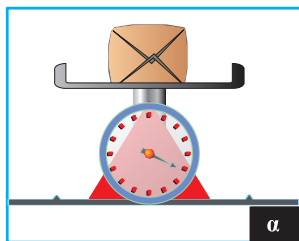
Με τη δύναμη έλκουμε ή απωθούμε τα σώματα.



**Εικόνα 1.2.2**

Στην εικόνα α, οι δυνάμεις, παρόλο που έχουν το ίδιο μέτρο, προκαλούν διαφορετικά αποτελέσματα, γιατί έχουν διαφορετική φορά. Στην εικόνα β, δυνάμεις διαφορετικού μέτρου προκαλούν διαφορετικά αποτελέσματα.

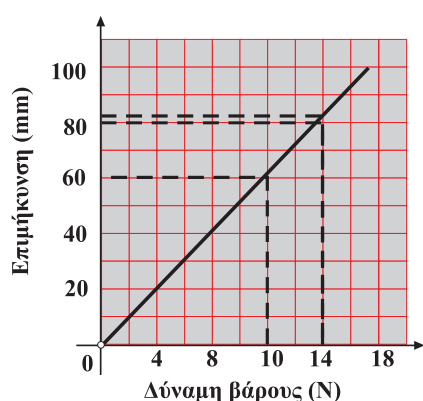




Εικόνα 1.2.3

α. Ζυγός ελατηρίου.

β. Δυναμόμετρο.



### Μέτρηση της δύναμης

Μια δύναμη μπορεί να μετρηθεί με το ζυγό ελατηρίου (Εικ. 1.2.3α) ή με το δυναμόμετρο (Εικ. 1.2.3β).

Στο ζυγό με ελατήριο το ελατήριο είναι κλεισμένο για λόγους προστασίας μέσα σε κουτί και στο ένα άκρο του έχει στερεωμένο ένα δείκτη.

Η αρχή μέτρησης της δύναμης με τα παραπάνω όργανα στηρίζεται στην **ελαστική παραμόρφωση** που αυτή προκαλεί. Όταν από το ελατήριο κρεμάσουμε ένα σώμα, η επιμήκυνση εξαρτάται από το βάρος του σώματος αυτού. Διπλάσιο βάρος προκαλεί διπλάσια επιμήκυνση. Έτσι κρεμώντας διαφορετικά σώματα γνωστών βαρών και σημειώνοντας τις αντίστοιχες επιμηκύνσεις είναι δυνατό να βαθμολογήσουμε το ελατήριο και να κατασκευάσουμε ένα δυναμόμετρο.

### Εφαρμογή

#### Μέτρηση δύναμης.

Δύο κορίτσια αγόρασαν ένα πεπόνι και θέλουν να το ζυγίσουν. Δεν έχουν ζυγαριά αλλά ένα ελατήριο και ένα πακέτο ζάχαρη του ενός kg. Η σακούλα με τη ζάχαρη επιμηκύνει το ελατήριο 60mm. Το πεπόνι προκαλεί μια επιμήκυνση 84mm. Πόσο είναι το βάρος του;

Η μάζα της ζάχαρης είναι 1kg. Οπότε το βάρος της (η δύναμη της βαρύτητας πάνω της) είναι 10N.

Αυτή τεντώνει το ελατήριο κατά 60mm, άρα μπορούμε να σχεδιάσουμε μία γραφική παράσταση της δύναμης που επιμηκύνει το ελατήριο σε συνάρτηση με την επιμήκυνση.

Από το διάγραμμα αυτό μπορεί να υπολογιστεί η δύναμη, όταν κρέμεται το πεπόνι από το ελατήριο, η οποία είναι 14N. (Αυτό σημαίνει ότι η μάζα είναι 1,4kg).



### Ελαστική παραμόρφωση

Η παραμόρφωση ενός σώματος λέγεται ελαστική όταν το σώμα επανέρχεται στην αρχική του μορφή, μόλις πάψει να ενεργεί σε αυτό η δύναμη που προκάλεσε την παραμόρφωσή του. Παραδείγματος χάρη, το κοντάρι του άλτη στη διπλανή εικόνα υφίσταται ελαστική παραμόρφωση.



**Νόμος του Hooke.**

Ο νόμος του Hooke διατυπώνεται ως εξής:

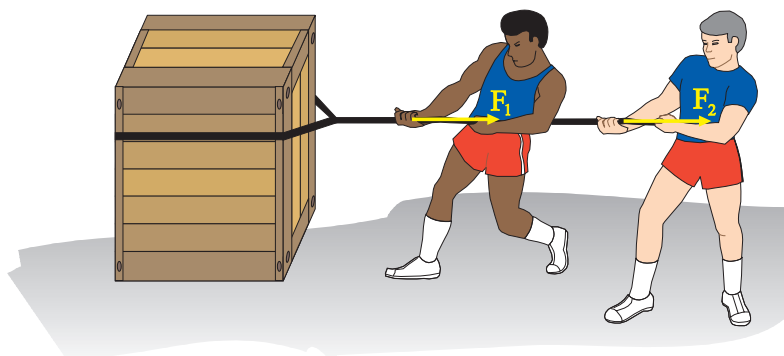
“Οι ελαστικές παραμορφώσεις είναι ανάλογες με τις δυνάμεις που τις προκάλεσαν”.

Η μαθηματική έκφραση του νόμου του Hooke, για τα ελατήρια, είναι:  $F=Kx$ .

Η σταθερά  $K$  ονομάζεται σταθερά του ελατηρίου και εξαρτάται από τη φύση και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του ελατηρίου (μήκος, πάχος κ.λπ.) και  $x$  η μεταβολή του μήκους του.

**1.2.2 Σύνθεση συγγραμμικών δυνάμεων**

Στην εικόνα 1.2.4 φαίνεται ένα κιβώτιο που προσπαθούν να το κινήσουν δύο άνθρωποι με τη βοήθεια σχοινιού. Θα ήταν δυνατόν άραγε οι δύο δυνάμεις που ασκούν οι άνθρωποι, να αντικατασταθούν με μια δύναμη, την οποία θα ασκούσε ίσως ένα όχημα και η οποία να έφερε το ίδιο αποτέλεσμα με αυτές; Η απάντηση είναι ναι.

**Εικόνα 1.2.4**

Οι δυνάμεις  $F_1$  και  $F_2$  μπορούν να αντικατασταθούν από μία δύναμη.

Γενικότερα, σε κάποιο σώμα που επενεργούν δύο ή περισσότερες δυνάμεις ταυτόχρονα, στο ίδιο σημείο του, υπάρχει μια δύναμη που μπορεί να αντικαταστήσει τις δυνάμεις αυτές και να επιφέρει το ίδιο αποτέλεσμα. Η δύναμη αυτή λέγεται **συνισταμένη** (πολλές φορές συμβολίζεται με  $\Sigma F$ ) και οι δυνάμεις που αντικαθιστά λέγονται **συνιστώσες** της.

Τη διαδικασία που ακολουθούμε για τον προσδιορισμό της συνισταμένης δύναμης δύο ή περισσότερων δυνάμεων, που ενεργούν στο ίδιο σώμα, την ονομάζουμε **σύνθεση** δυνάμεων.

Επειδή η δύναμη είναι διανυσματικό μέγεθος, οι δυνάμεις προστίθενται διανυσματικά. Στο κεφάλαιο αυτό θα δούμε πώς βρίσκεται η συνισταμένη συγγραμμικών δυνάμεων.

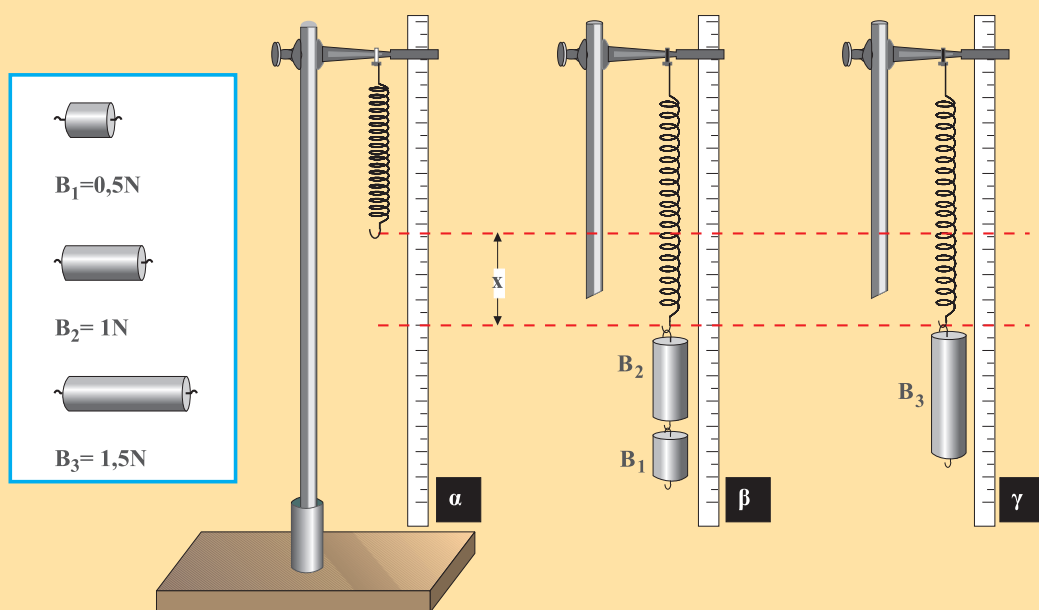


## Δραστηριότητα

### Σύνθεση δύο συγγραμμικών δυνάμεων.

α) Δυνάμεις της ίδιας κατεύθυνσης.

Πραγματοποιήστε τη διάταξη της εικόνας 1α. Κρεμάστε από το άκρο του ελατηρίου δύο βαρίδια με βάρη  $B_1 = 0,5\text{N}$  και  $B_2 = 1\text{N}$  (Εικ. 1β). Μετρήστε την επιμήκυνση του ελατηρίου.



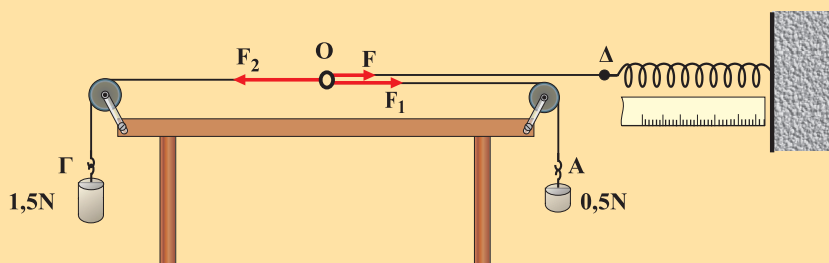
**Εικόνα 1**

Σύνθεση δύο δυνάμεων ίδιας κατεύθυνσης.

Αντικαταστήστε τα δύο βαρίδια με το βαρίδι  $B_3$  που έχει βάρος  $1,5\text{N}$  (Εικ. 1γ). Μετρήστε και πάλι την επιμήκυνση του ελατηρίου και συγκρίνετέ την με την προηγούμενη. Τι διαπιστώνετε; Τι συμπεραίνετε;

β) Δυνάμεις αντίθετης κατεύθυνσης.

Πραγματοποιήστε τη διάταξη της εικόνας 2α. Οι δύο τροχαλίες σε πλαίσιο είναι στερεωμένες στο τραπέζι με τη βοήθεια σφιγκτήρων. Τα τρία άκρα των τριών νημάτων είναι ενωμένα σε ένα σημείο (O).



**Εικόνα 2α**

Σύνθεση δυνάμεων αντίθετης κατεύθυνσης.

πέξι με τη βοήθεια σφιγκτήρων. Τα τρία άκρα των τριών νημάτων είναι ενωμένα σε ένα σημείο (O).

Τα άλλα άκρα των νημάτων έχουν θηλειές για να προσαρμόζονται σ' αυτές δυναμόμετρο και βαρίδια.

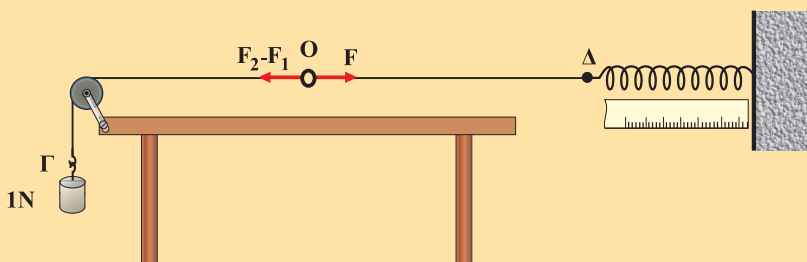


Αναρτήστε από τις θηλειές Α και Γ δύο βαρίδια με βάρη 0,5N και 1,5N και ισορροπήστε το σημείο Ο τραβώντας το άκρο Δ με ελατήριο. Μετρήστε το μήκος του ελατηρίου.

Αφαιρέστε τα βαρίδια από τα άκρα Α και Γ και αναρτήστε στο Γ ένα βαρίδι, του οποίου το βάρος είναι ίσο με τη διαφορά των βαρών των δύο βαριδίων, δηλαδή 1N (Εικ. 26). Μετρήστε πάλι το μήκος του ελατηρίου. Προκαλείται και στην περίπτωση αυτή η ίδια επιμήκυνση του ελατηρίου;

Ποια σχέση υπάρχει μεταξύ  $F$ ,  $F_2$ ,  $F_1$ ;

Εικόνα 2β

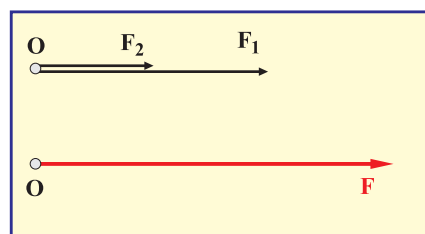


Από την παραπάνω δραστηριότητα προκύπτουν τα εξής:

**1η) Περίπτωση:** Οι δυνάμεις έχουν την ίδια κατεύθυνση.

Αν δύο δυνάμεις έχουν την ίδια κατεύθυνση η συνισταμένη τους (διανυσματικό άθροισμα) έχει τιμή ίση με το άθροισμα των τιμών των συνιστωσών δυνάμεων και φορά τη φορά τους (Εικ. 1.2.5).

$$F = F_1 + F_2 \quad (1.2.1)$$

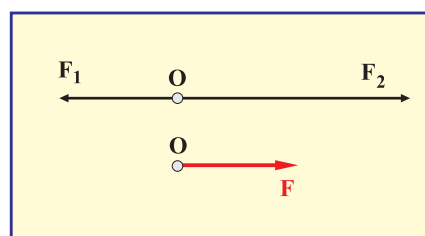


Εικόνα 1.2.5

**2η) Περίπτωση:** Οι δυνάμεις έχουν αντίθετη κατεύθυνση.

Η συνισταμένη δύο δυνάμεων που έχουν αντίθετη κατεύθυνση έχει τιμή ίση με τη διαφορά των τιμών των δυνάμεων και κατεύθυνση αυτή που αντιστοιχεί στη δύναμη με τη μεγαλύτερη τιμή (Εικ. 1.2.6):

$$F = F_2 - F_1 \quad (1.2.2)$$



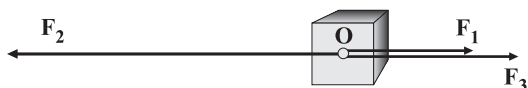
Εικόνα 1.2.6

Γενικότερα, για τη σύνθεση πολλών συγγραμμικών δυνάμεων που ασκούνται στο ίδιο σημείο ενός σώματος ακολουθούμε την παρακάτω διαδικασία:

Επιλέγουμε αυθαίρετα μια θετική φορά. Προσθέτουμε τα μέτρα των δυνάμεων με θετική φορά. Κατόπιν προσθέτουμε τα μέτρα των δυνάμεων με αρνητική φορά. Στη συνέχεια, αφαιρούμε από το άθροισμα των μέτρων των δυνάμεων με θετική φορά, το άθροισμα των μέτρων των δυνάμεων με αρνητική φορά. Αν το αποτέλεσμα είναι θετικός αριθμός η συνισταμένη έχει θετική φορά, ενώ αν είναι αρνητικός αριθμός η συνισταμένη έχει αρνητική φορά.

## Παράδειγμα

Να βρεθεί η συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται σ' ένα σώμα όπως φαίνεται στην εικόνα. Δίνονται:  $F_1 = 10\text{N}$ ,  $F_2 = 25\text{N}$  και  $F_3 = 12\text{N}$ .

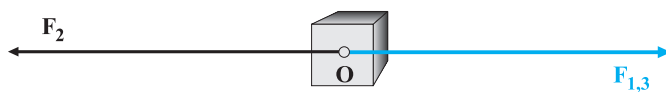


**α' τρόπος.**

Βρίσκουμε τη συνισταμένη των δυνάμεων  $F_1$  και  $F_3$ , που έχει μέτρο:

$$F_{1,3} = F_1 + F_3 \quad \text{ή}$$

$$F_{1,3} = 10\text{N} + 12\text{N} = 22\text{N}$$

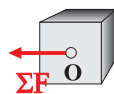


Η κατεύθυνση της δύναμης  $F_{1,3}$  είναι ίδια με αυτή που έχουν οι δυνάμεις  $F_1$  και  $F_3$ .

Βρίσκουμε τη συνισταμένη των δυνάμεων  $F_{1,3}$  και  $F_2$ , που έχει μέτρο:

$$\Sigma F = F_2 - F_{1,3} \quad \text{ή}$$

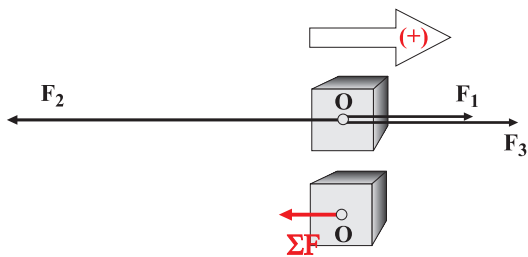
$$\Sigma F = 25\text{N} - 22\text{N} = 3\text{N}$$



Η κατεύθυνση της δύναμης  $F$  είναι ίδια με αυτή της δύναμης  $F_2$ .

**β' τρόπος.**

Μπορούμε να εργαστούμε και ως εξής:



Επιλέγουμε ως θετική φορά τη φορά της δύναμης  $F_1$ . Τότε η συνισταμένη  $\Sigma F$  θα ισούται:

$$\Sigma F = F_1 - F_2 + F_3 \quad \text{ή}$$

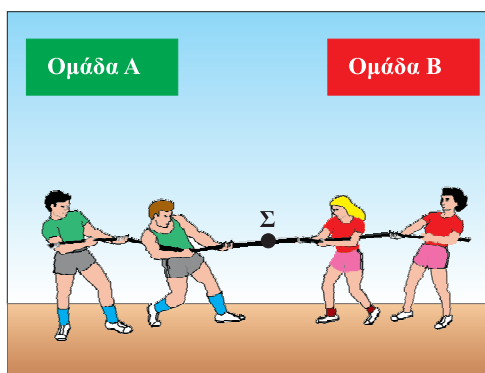
$$\Sigma F = 10\text{N} - 25\text{N} + 12\text{N} \quad \text{ή} \quad \Sigma F = -3\text{N}.$$

Η κατεύθυνση της δύναμης  $F$  είναι αντίθετη με τη φορά που επιλέξαμε ως θετική, δηλαδή έχει φορά ίδια με αυτή της δύναμης  $F_2$ .

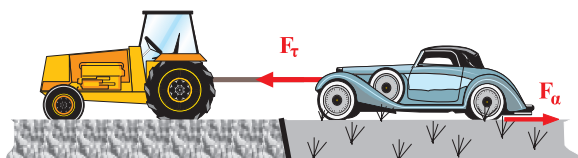


## Εφαρμογές

1) Δύο ομάδες παιδιών προσπαθούν να νικήσει η μία την άλλη στο παιχνίδι με το σχοινί (διελκυνστίδα). Παρόλο που στο σημείο Σ του σχοινιού ασκούνται δυνάμεις αυτό δε μετακινείται, διότι η συνισταμένη των δυνάμεων είναι μηδέν.



2) Το Ι.Χ. αυτοκίνητο “κόλλησε” στη λάσπη και το τρακτέρ προσπαθεί να το βγάλει. Είναι φανερό ότι αν το μέτρο της δύναμης  $F_T$ , που ασκεί το τρακτέρ είναι μεγαλύτερη από το μέτρο της δύναμης  $F_a$ , το αυτοκίνητο θα απομακρυνθεί από τη λάσπη.

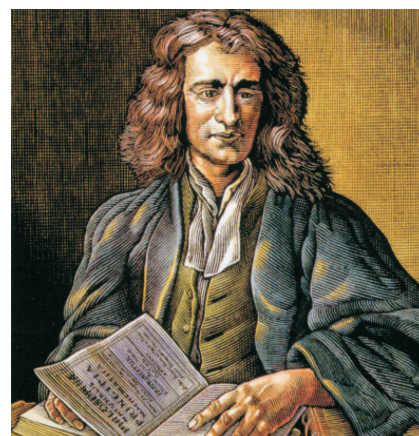


## ΟΙ ΝΟΜΟΙ ΤΟΥ ΝΕΥΤΩΝΑ

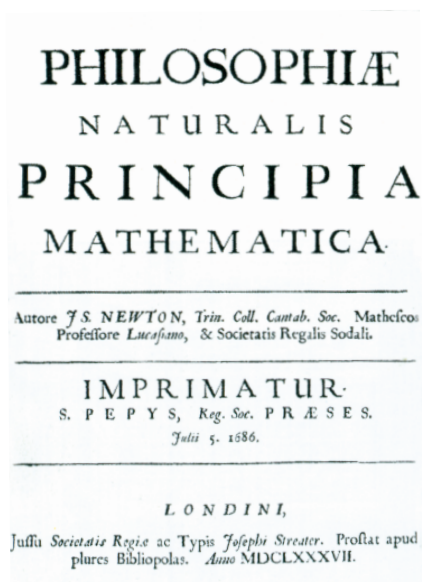
Το 1687, ο Άγγλος Φυσικός και Μαθηματικός, Ισαάκ Νεύτων, δημοσίευσε τους νόμους της Μηχανικής, οι οποίοι διέπουν την κίνηση των σωμάτων και συσχετίζουν την κίνηση με τη δύναμη.

Οι νόμοι αυτοί ίσχυσαν αμετάβλητοι για περισσότερο από διακόσια χρόνια και επαληθεύτηκαν αναρίθμητες φορές. Η καθολική ισχύς τους αμφισβητήθηκε από τον Αϊνστάιν.

Στο κεφάλαιο αυτό θα μελετήσουμε τους δύο πρώτους νόμους του Νεύτωνα, ο τρίτος νόμος θα μελετηθεί στο επόμενο κεφάλαιο.



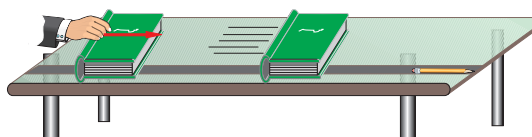
Isaac Newton (1642-1727).



Στο βιβλίο με τίτλο “*Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*”, ο Νεύτωνας παρουσίασε τις απόψεις του για τη δύναμη και την κίνηση. Η μετάφραση του τίτλου του βιβλίου στα Ελληνικά είναι: “*Μαθηματικές απαρχές της φυσικής Φιλοσοφίας*”.

### 1.2.3 Ο πρώτος νόμος του Νεύτωνα

Δώσε μια ώθηση στο βιβλίο σου πάνω στο θρανίο, εικόνα 1.2.7, και παρατήρησε τι θα συμβεί. Είναι βέβαιο ότι πριν το κάνεις γνωρίζεις από την εμπειρία σου την απάντηση. Το βιβλίο θα διανύσει μικρή απόσταση και θα σταματήσει. Αυτή η εμπειρία οδήγησε στο συμπέρασμα που διατύπωσε ο Αριστοτέλης και ίσχυσε ως το Μεσαίωνα, ότι η φυσική κατάσταση των σωμάτων είναι η ακινησία. Κατά την άποψη αυτή όλα τα αντικείμενα κινούνται μόνο εάν κάποια δύναμη προκαλεί την κίνησή τους. Δηλαδή είναι αδύνατο να κινείται ένα σώμα χωρίς να υπάρχει κάποια δύναμη που να δρα διαρκώς σε αυτό. Παρόλο που η απάντηση φαίνεται με πρώτη ματιά λογική, δεν είναι επιστημονικά αποδεκτή.



Εικόνα 1.2.7

Ας υποθέσουμε τώρα ότι σπρώχνεις το βιβλίο σου να γλιστρήσει πάνω σε ένα πολύ μεγάλο και πολύ καλά γυαλισμένο πάτωμα με την ίδια ώθηση. Το βιβλίο πάλι θα σταματήσει, αλλά αυτή τη φορά θα έχει κινηθεί για πολύ μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Φαντάσου τώρα ότι το πάτωμα γίνεται μια τεράστια επίπεδη και τόσο καλά γυαλισμένη επιφάνεια που οι τριβές να είναι ασήμαντες. Δεν μπορούμε άραγε να υποθέσουμε ότι σε τέτοιες συνθήκες το βιβλίο θα εκκινείτο συνεχώς;

Ο Γαλιλαίος, ο οποίος ήταν ο πρώτος που έκανε τέτοια υποθετικά πειράματα, συμπέρανε ότι δεν οφείλεται στη φύση των σωμάτων να σταματάνε όταν τα θέσουμε σε κίνηση, αλλά τα σταματάει η τριβή. Αντιθέτως τα σώματα αντιστέκονται στη μεταβολή της ταχύτητάς τους. Η ιδιότητα που έχουν τα σώματα να αντιστέκονται στη μεταβολή της κινητικής τους κατάστασης λέγεται **αδράνεια** ή **αδράνεια των σωμάτων** ή **αδράνεια της ύλης**.

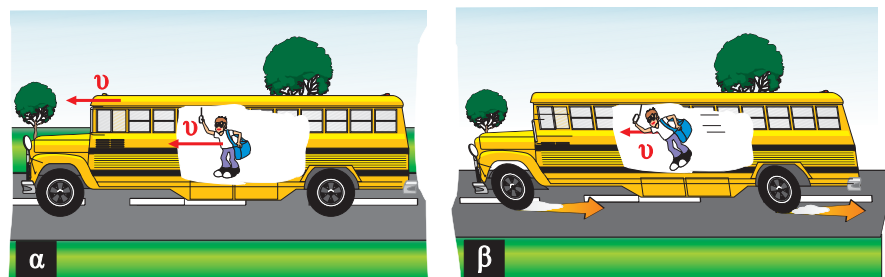
Με την έκφραση “*μεταβολή της κινητικής κατάστασης*” εννοούμε το εξής:

Από κινητική άποψη ένα σώμα ή θα ηρεμεί ή θα κινείται. Αν ένα σώμα που αρχικά ηρεμεί τεθεί σε κίνηση η κινητική του κατάσταση μεταβάλλεται. Επίσης σ’ ένα σώμα που κινείται, αν μεταβληθεί η ταχύτητά του τότε μεταβάλλεται και η κινητική του κατάσταση.

Ένα παράδειγμα που φαίνεται η αδράνεια των σωμάτων είναι το εξής: Ένα αυτοκίνητο κινούμενο με σταθερή ταχύτητα φρενάρει ξαφνικά, οπότε οι επιβάτες κινούνται προς τα εμπρός. Αυτό συμβαίνει γιατί οι επιβάτες κινούνται με



την ταχύτητα του αυτοκινήτου. Όταν αυτό φρενάρει (ασκείται μεγάλη δύναμη στο αυτοκίνητο από το οδόστρωμα), δεν υπάρχει μεγάλη δύναμη για να σταματήσει τους επιβάτες, οι οποίοι τείνουν να διατηρήσουν την κινητική τους κατάσταση και κινούνται προς τα εμπρός (Εικ. 1.2.8).



**Εικόνα 1.2.8**

Όταν το αυτοκίνητο φρενάρει απότομα, ο επιβάτης συνεχίζει να κινείται προς τα εμπρός.

Τα συμπεράσματα σχετικά με την αδράνεια της ύλης διατυπώνονται με σαφήνεια στον πρώτο νόμο του Νεύτωνα, ως εξής:

**Αν η συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται σε ένα σώμα είναι μηδέν, τότε το σώμα ή ηρεμεί ή κινείται ευθύγραμμα και ομαλά.**

Ο πρώτος νόμος του Νεύτωνα βρίσκει εφαρμογή στη σύγχρονη διαστημική. Όταν, παραδείγματος χάρη, ένα διαστημόπλοιο που κινείται μακριά από πλανήτες ή άλλα ουράνια σώματα, (άρα δεν δέχεται καμιά δύναμη από άλλα σώματα και επομένως έχει σταθερή ταχύτητα), χρειαστεί να αλλάξει την ταχύτητά του, χρησιμοποιεί κάποιο προωθητικό σύστημα. Όταν αποκτήσει την επιθυμητή ταχύτητα τότε μπορεί να κινείται με αυτή, λόγω αδράνειας, χωρίς να λειτουργούν οι προωθητικοί πύραυλοι.

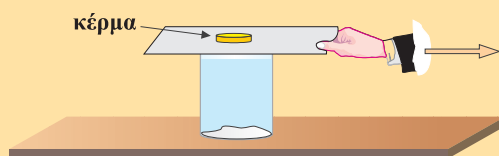
Ένας μαθητής ισχυρίζεται, ότι αδράνεια είναι η δύναμη η οποία διατηρεί την κίνηση των αντικειμένων.

Συμφωνείτε με αυτό τον ισχυρισμό;

## Δραστηριότητα

### Αδράνεια των σωμάτων.

1. Απλώστε στον πυθμένα ενός ποτηριού λίγο δαμδάκι.
2. Τοποθετήστε επάνω στο ποτήρι ένα φύλλο από χοντρό χαρτόνι και επάνω σ' αυτό μια μεταλλική σφαίρα (ή ένα κέρμα).
3. Σύρετε το χαρτόνι αργά, διατηρώντας το οριζόντιο. Τι παρατηρείτε;



4. Τοποθετήστε πάλι το χαρτόνι με τη σφαίρα ή το κέρμα επάνω στο ποτήρι. Τραβήξτε απότομα το χαρτόνι. Τι συμβαίνει; Πώς ερμηνεύετε αυτό που παρατηρήσατε;

### 1.2.4 Ο δεύτερος νόμος του Νεύτωνα ή Θεμελιώδης νόμος της Μηχανικής

Όπως είδαμε, ο πρώτος νόμος του Νεύτωνα μελετά την περίπτωση που η συνισταμένη των δυνάμεων οι οποίες ασκούνται σε ένα σώμα είναι μηδέν. Ο δεύτερος νόμος του Νεύτωνα, που, λόγω της σπουδαιότητας του στη μελέτη των κινήσεων, λέγεται και Θεμελιώδης νόμος της Μηχανικής, απαντά στο ερώτημα:

Τι συμβαίνει σε ένα σώμα, όταν η συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται σ' αυτό δεν είναι μηδέν;

Ας κάνουμε το εξής υποθετικό πείραμα. Σε ένα καλά γυαλισμένο δάπεδο σπρώχνουμε με σταθερή δύναμη μια κολώνα πάγου (Εικ. 1.2.9). Βρίσκουμε ότι το σώμα κινείται με σταθερή επιτάχυνση.

Διπλασιάζουμε τη δύναμη που ασκούμε στο σώμα και βρίσκουμε ότι και η επιτάχυνση διπλασιάζεται. Αν τριπλασιάζουμε τη δύναμη και η επιτάχυνση που αποκτά το σώμα τριπλασιάζεται. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι: η δύναμη  $\vec{F}$  που ασκείται σε ένα σώμα και η επιτάχυνση  $\vec{a}$  που αποκτά αυτό είναι μεγέθη ανάλογα.

Μπορούμε λοιπόν να γράψουμε:

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (1.2.3)$$

Η επιτάχυνση που αποκτά το σώμα και η δύναμη που ενεργεί σ' αυτό, έχουν σχέση αποτελέσματος - αιτίου. Η κατεύθυνση της επιτάχυνσης είναι ίδια με την κατεύθυνση της δύναμης. Για το λόγο αυτό, στους υπολογισμούς η σχέση αυτή γράφεται  $F=ma$ .

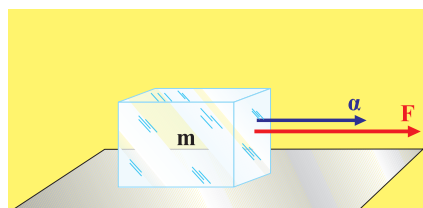
Ο συντελεστής αναλογίας  $m$  της παραπάνω σχέσης  $m=F/a$  αποτελεί τον ορισμό για τη μάζα και ονομάζεται **μάζα αδράνειας** του σώματος ή απλά μάζα. Για την έννοια της μάζας θα μιλήσουμε αναλυτικά σε επόμενη παράγραφο.

Αν στη σχέση  $F=ma$  θέσουμε  $m=1\text{kg}$  και  $a=1\text{m/s}^2$  προκύπτει η μονάδα μέτρησης της δύναμης που ονομάζεται **1N**.

$$1\text{N} = 1\text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Δηλαδή, 1N είναι η δύναμη που αν ενεργήσει σε σώμα μάζας 1kg του προσδίδει επιτάχυνση  $1\text{m/s}^2$ .

Από την ίδια σχέση (1.2.3) προκύπτει ότι τα μεγέθη μάζα και επιτάχυνση είναι αντιστρόφως ανάλογα, όταν η δύναμη είναι σταθερή. Πράγματι στο υποθετικό πείραμα με την κολώνα του πάγου υποθέτουμε, ότι πάνω στην κολώνα στερεώνουμε μια δεύτερη ίσης μάζας με την πρώτη. Αν σπρώξουμε με την ίδια δύναμη όπως προηγουμένως, θα βρούμε ότι η επιτάχυνση που αποκτά το σύστημα έχει τιμή



Εικόνα 1.2.9

ίση με το  $1/2$  της προηγούμενης τιμής της (Εικ. 1.2.10). Αν προσθέσουμε και τρίτη κολώνα πάγου και σπρώξουμε με την ίδια σταθερή δύναμη η επιτάχυνση θα έχει τιμή ίση με το ένα  $1/3$  της αρχικής της.

Μπορούμε λοιπόν να υποστηρίξουμε ότι η επιτάχυνση που αποκτά ένα σώμα με την επίδραση μιας σταθερής δύναμης είναι αντιστρόφως ανάλογη της μάζας του σώματος.

Η σχέση (1.2.3) ισχύει και όταν στο σώμα ασκούνται περισσότερες από μία δυνάμεις και γράφεται:

$$\Sigma \vec{F} = m \vec{a}$$

όπου  $\Sigma \vec{F}$  είναι η συνισταμένη των δυνάμεων.

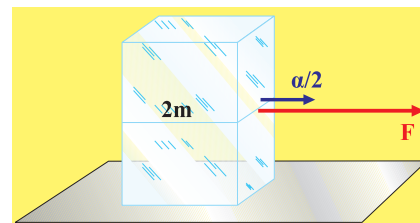
### Διερεύνηση της σχέσης $\vec{F} = m \vec{a}$ .

α. Αν σ' ένα σώμα δεν ασκείται δύναμη, ή ασκούνται δυνάμεις με συνισταμένη μηδέν, δηλαδή είναι  $\Sigma F = 0$ , τότε και η επιτάχυνση θα είναι μηδέν, δηλαδή  $a = 0$ .

Αυτό σημαίνει ότι, αν η συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται σε ένα σώμα είναι ίση με μηδέν, δεν αλλάζει η κινητική κατάσταση του σώματος. Έτσι το σώμα ηρεμεί, αν αρχικά ηρεμούσε, ή κινείται ευθύγραμμα και ομαλά αν αρχικά είχε ταχύτητα (1ος νόμος του Νεύτωνα).

β. Αν σ' ένα σώμα ασκείται σταθερή δύναμη της ίδιας κατεύθυνσης με την ταχύτητά του, τότε και η επιτάχυνση που αποκτά είναι σταθερή και το σώμα εκτελεί ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση. Αν η δύναμη είναι αντίθετης κατεύθυνσης από την ταχύτητα η κίνηση είναι ομαλά επιβραδυνόμενη.

γ. Αν η συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται σε ένα σώμα είναι μεταβαλλόμενη τότε και η επιτάχυνση που αποκτά το σώμα θα είναι μεταβαλλόμενη.



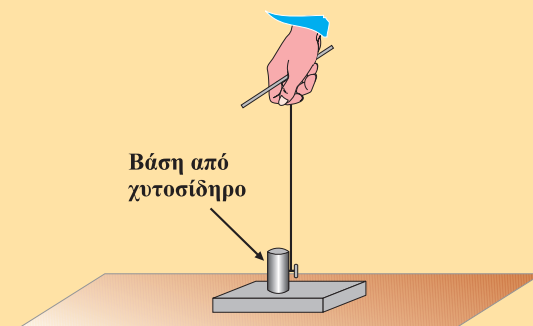
Εικόνα 1.2.10

Μερικοί μαθητές πιστεύουν, ότι τα σώματα παύουν να κινούνται όταν παύσει να ασκείται σ' αυτά δύναμη.

Ποια είναι η δική σας άποψη;

### Δραστηριότητα

1. Κόψτε νήμα μήκους 1m περίπου και δέστε το ένα άκρο του σε χυτοσιδερένια βάση (ή άλλο βαρύ σώμα) και το άλλο σε ένα ραβδάκι.
2. Σηκώστε τη χυτοσιδερένια βάση τραβώντας αργά προς τα επάνω το νήμα. Τι παρατηρείτε;
3. Επαναλάβετε τραβώντας απότομα το νήμα. Τι συμβαίνει; Εξηγήστε τη διαφορετική συμπεριφορά του χυτοσιδερένιου σώματος όταν προσπαθείτε να τη σηκώσετε τραβώντας το νήμα: α) σιγά - σιγά, β) απότομα.
4. Αναφέρετε μερικά παραδείγματα των αποτελεσμάτων της αδράνειας που συναντάτε στην καθημερινή σας ζωή.
5. Προσπαθήστε να δικαιολογήσετε τη χρήση της ζώνης ασφαλείας από τους επιβάτες αυτοκινήτων και αεροπλάνων.

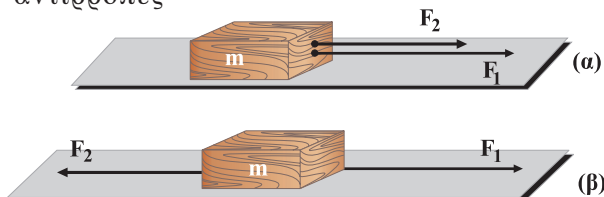




### Παράδειγμα

Σε σώμα μάζας  $m = 1\text{ kg}$  ασκούνται δύο δυνάμεις  $F_1 = 4\text{ N}$  και  $F_2 = 3\text{ N}$  που είναι:

- α) ομόρροπες
- β) αντίρροπες



Σε κάθε περίπτωση να σχεδιάσετε την επιτάχυνση του σώματος και να βρείτε το μέτρο της.

Επίσης να υπολογίσετε το διάστημα που θα διανύσει το σώμα σε χρόνο  $2\text{ s}$ , αν αρχικά αυτό ήταν ακίνητο.

#### Απάντηση

Σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν, η κατεύθυνση της επιτάχυνσης θα είναι ίδια με την κατεύθυνση της συνισταμένης δύναμης, για κάθε περίπτωση. Η τιμή της θα βρεθεί από τη σχέση

$$a = \frac{F}{m} \quad (1)$$

Στην πρώτη περίπτωση το μέτρο της συνισταμένης  $F$  ισούται με:

$$F = F_1 + F_2 = 7\text{ N}$$

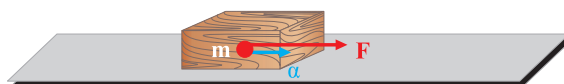


και με αντικατάσταση στη σχέση (1), προκύπτει ότι η επιτάχυνση έχει τιμή:

$$a = 7\text{ m/s}^2.$$

Στη δεύτερη περίπτωση που οι δυνάμεις έχουν αντίθετη φορά το μέτρο της συνισταμένης τους έχει τιμή:

$$F = F_1 - F_2 = 1\text{ N}$$



και με αντικατάσταση στη σχέση (1), προκύπτει ότι η επιτάχυνση έχει τιμή:

$$a = 1\text{ m/s}^2$$

Το σώμα και στις δύο περιπτώσεις εκτελεί ευθύγραμμη ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση ( $a = \text{σταθερή}$ ). Η σχέση που δίνει το διάστημα που διάνυσε το σώμα είναι:

$$s = \frac{1}{2} at^2$$

Γνωρίζουμε τις τιμές του χρόνου και της επιτάχυνσης και με αντικατάσταση υπολογίζουμε το διάστημα που είναι:  $s = 14\text{ m}$  και  $s = 2\text{ m}$  αντίστοιχα για κάθε περίπτωση.

### 1.2.5 Η έννοια του βάρους

Όπως γνωρίζουμε, αν αφήσουμε ένα σώμα να πέσει ελεύθερα, πέφτει με την επιτάχυνση της βαρύτητας  $g=9,81 \text{ m/s}^2$ . Σύμφωνα με το Θεμελιώδη νόμο της Μηχανικής, αφού το σώμα έχει επιτάχυνση θα ενεργεί σ' αυτό δύναμη  $\vec{F}=m\vec{a}$  ή  $\vec{F}=m\vec{g}$ , που έλκει το σώμα προς τη Γη. Τη δύναμη αυτή την ονομάζουμε **βάρος** του σώματος και τη συμβολίζουμε με  $\vec{B}$ , (Εικ. 1.2.11), δηλαδή:

$$\vec{B}=m\vec{g} \quad (1.2.4)$$

Σύμφωνα με τη σχέση αυτή σώμα μάζας  $1\text{ kg}$  έχει βάρος:

$$B = 1\text{ kg} \cdot 9,81\text{ m/s}^2 \quad \text{ή} \quad B = 9,81\text{ N}$$

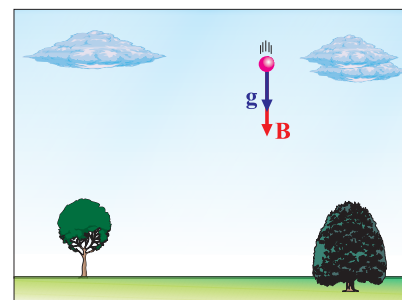
Πολλές φορές για τη μέτρηση του βάρους χρησιμοποιείται ως μονάδα το κιλοπόντ (kp), γνωστό και ως χιλιόγραμμα βάρους, που είναι:  $1\text{ kp} = 9,81\text{ N}$ .

Μια δύναμη είναι ίση με  $1\text{ kp}$  όταν ενεργεί σε μάζα  $1\text{ kg}$  και της προσδίδει επιτάχυνση  $a = g = 9,81\text{ m/s}^2$ .

[Με την καθιέρωση του Διεθνούς Συστήματος μονάδων (S.I.) ως μονάδα δύναμης χρησιμοποιείται μόνο το  $1\text{ N}$ ].

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η μάζα  $m$  ενός σώματος είναι σταθερή, ενώ το βάρος του μεταβάλλεται από τόπο σε τόπο πάνω στην επιφάνεια της Γης. Επίσης το βάρος ενός σώματος μειώνεται με το υψόμετρο, όπως θα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο.

Δεν έχει νόημα να μιλάμε για το βάρος της Γης ή της Σελήνης ή οποιουδήποτε αστερά, αλλά μόνο για τη μάζα τους.



Εικόνα 1.2.11

### 1.2.6 Η έννοια της μάζας

Είδαμε ότι σύμφωνα με τον πρώτο νόμο του Νεύτωνα τα σώματα έχουν την ιδιότητα να αντιστέκονται σε κάθε μεταβολή της κινητικής τους κατάστασης. Την ιδιότητα αυτή την ονομάσαμε αδράνεια. Μέτρο της αδράνειας ενός σώματος αποτελεί η μάζα του που λέγεται και **αδρανειακή μάζα**.

Ένα σώμα μεγάλης μάζας παρουσιάζει και μεγάλη αδράνεια γ' αυτό απαιτείται μεγάλη δύναμη προκειμένου να αποκτήσει ορισμένη επιτάχυνση, εικόνα 1.2.12.

Η αδρανειακή μάζα ενός σώματος υπολογίζεται από τη σχέση  $F=ma$ .

Για να μετρήσουμε τη μάζα αδράνειας ενός σώματος ασκούμε επάνω του δύναμη και μετράμε την επιτάχυνση που αποκτά.

Μπορούμε να υπολογίσουμε μια μάζα μετρώντας τη δύναμη βαρύτητας πάνω σ' αυτή, συγκρίνοντας τη βαρυτική έλξη που δέχεται με την έλξη που δέχεται κάποια άλλη πρότυπη μάζα.



Εικόνα 1.2.12

Από τα δύο αυτοκίνητα της εικόνας, ποιο μπορεί να κινηθεί ευκολότερα;

Έστω δύο σώματα με μάζες  $m_1$  και  $m_2$  που έχουν βάρη  $B_1$  και  $B_2$ , στον ίδιο τόπο. Είναι:

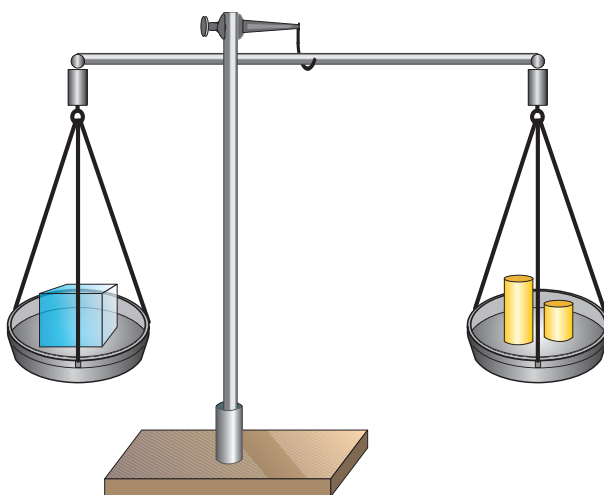
$$B_1 = m_1 g \quad \text{και}$$

$$B_2 = m_2 g$$

Διαιρώντας τις σχέσεις αυτές κατά μέλη παίρνουμε:

$$\frac{B_1}{B_2} = \frac{m_1}{m_2}$$

Δηλαδή ο λόγος των βαρών δύο σωμάτων (στον ίδιο τόπο) ισούται με το λόγο των μαζών τους. Την ιδιότητα αυτή τη χρησιμοποιούμε για την εύρεση της μάζας ενός σώματος με το ζυγό, συγκρίνοντας το βάρος του με το βάρος των σταθμών (Εικ. 1.2.13).



Εικόνα 1.2.13

Η μάζα που προκύπτει από τη μέτρηση της δύναμης βαρύτητας (βάρος) πάνω σ' αυτή, χωρίς τη χρήση επιτάχυνσης λέγεται **βαρυτική μάζα**.

Πειράματα που έγιναν έδειξαν ότι η βαρυτική και η

αδρανειακή μάζα είναι ίσες. Το γεγονός αυτό αποτελεί μια σπουδαία ιδιότητα της ύλης που μας επιτρέπει να χρησιμοποιούμε την έννοια "μάζα" αδιακρίτως είτε πρόκειται για βαρυτική είτε για αδρανειακή μάζα.

Η μονάδα μέτρησης της μάζας είναι το **1 kg**, που ισούται με τη μάζα του προτύπου χιλιογράμμου μάζας, το οποίο φυλάσσεται στο μουσείο Μέτρων και Σταθμών των Σεβρών της Γαλλίας (Εικ. 1.2.14).



Εικόνα 1.2.14



## Η αδρανειακή μάζα αλλάζει



Ενώ η βαρυτική μάζα ενός σώματος διατηρείται σταθερή, η αδρανειακή μάζα, σύμφωνα με τη θεωρία της σχετικότητας του Αϊνστάϊν, αυξάνεται όταν η ταχύτητα του σώματος πλησιάζει την ταχύτητα του φωτός,  $c = 300.000 \text{ km/s}$ . Αύξηση όμως της μάζας σημαίνει ότι, απαιτείται επιπλέον δύναμη για να συνεχίσει το σώμα να κινείται με την ίδια επιτάχυνση.

### 1.2.7 Η ελεύθερη πτώση των σωμάτων

Αν από το ίδιο ύψος αφήσουμε να πέσουν ταυτόχρονα δύο σφαίρες με διαφορετικό βάρος ποια νομίζεις ότι θα φθάσει πρώτη στο έδαφος; Μπορείς να δικαιολογήσεις την απάντησή σου;

Ο Αριστοτέλης πίστευε ότι τα βαρύτερα σώματα φθάνουν γρηγορότερα στη Γη από τα ελαφρύτερα. Την αντίληψη αυτή είχε και η επιστήμη έως την Αναγέννηση, που ο Γαλιλαίος απέδειξε το λάθος αυτού του ισχυρισμού. Λένε ότι από τον πύργο της Πίζας άφησε να πέσουν ταυτόχρονα δύο μεταλλικές σφαίρες διαφορετικής μάζας και παρατήρησε ότι έφθασαν ταυτόχρονα στο έδαφος.

Λέμε ότι ένα σώμα κάνει ελεύθερη πτώση όταν το αφήσουμε να πέσει από κάποιο ύψος και η μόνη δύναμη που ενεργεί σ' αυτό είναι το βάρος του, το οποίο θεωρείται σταθερό. Η αντίσταση του αέρα θεωρείται αμελητέα. Η ελεύθερη πτώση, επακριβώς, πραγματοποιείται μόνο στο κενό.

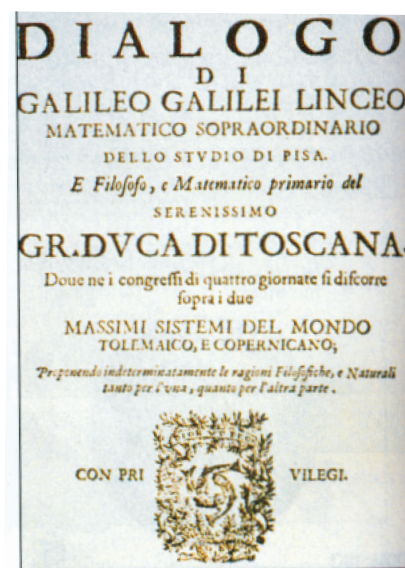
Έχει αποδειχθεί ότι όταν αφήσουμε ένα μικρό σώμα να πέσει ελεύθερα, από μικρό ύψος από την επιφάνεια της Γης, πέφτει με κίνηση ομαλά επιταχυνόμενη. Η επιτάχυνση έχει μέση τιμή  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  σε γεωγραφικό πλάτος  $45^\circ$ . Η επιτάχυνση αυτή οφείλεται στην έλξη της Γης και ονομάζεται *επιτάχυνση της βαρύτητας*.

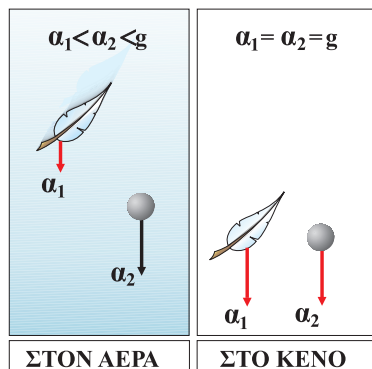
Όταν ένα σώμα πέφτει στον αέρα ή σε υγρό, παραδειγματος χάρη στο νερό, η αντίσταση του μέσου δε θεωρείται αμελητέα. Σ' αυτή την περίπτωση το σώμα αποκτά τελικά μια σταθερή ταχύτητα που λέγεται οριακή ταχύτητα. Στις περιπτώσεις αυτές που υπάρχει αντίσταση στην κίνηση η πτώση δεν είναι ελεύθερη.

Στη Φυσική είναι εύκολο να καταλήξει κανείς σε λανθασμένο συμπέρασμα από μια τυχαία παρατήρηση. Έτσι, αν από το ίδιο ύψος αφήσουμε να πέσουν την ίδια χρονική στιγμή ένα φτερό και μια μικρή σφαίρα από μόλυβδο, το φτερό θα πέσει πολύ βραδύτερα από τη σφαίρα.



Galileo Galilei (1564-1642). Θεμελιωτής της πειραματικής διαδικασίας στην περίοδο της Αναγέννησης. Ασχολήθηκε με τη Φυσική και την Αστρονομία.





Εικόνα 1.2.15

Αυτό συμβαίνει γιατί η αντίσταση που προβάλλει ο αέρας στην κίνηση του φτερού (Εικ. 1.2.15) είναι πολύ πιο μεγάλη από ότι στη σφαίρα, με αποτέλεσμα το φτερό να πέσει πιο αργά. Αν η αντίσταση του αέρα ελαττωθεί πολύ, τότε και το φτερό πέφτει με τη ίδια επιτάχυνση που πέφτει και η σφαίρα. Λένε πως αυτό το απόδειξε πειραματικά ο Άγγλος Μπόιλ (Robert Boyle, 1627-1691) λίγο μετά το θάνατο του Γαλιλαίου. Με τη βοήθεια της αεραντλίας, την οποία ο ίδιος εφεύρε, αφαίρεσε τον αέρα από ένα γυάλινο σωλήνα, μέσα στον οποίο είχε τοποθετήσει ένα φτερό και μια μολύβδινη σφαίρα. Όταν αντέστρεψε το σωλήνα, το φτερό και η σφαίρα έπεσαν ταυτόχρονα. Στη συνέχεια ως



Εικόνα 1.2.16

Η αντίσταση του αέρα είναι πολύ πιο μεγάλη στο αλεξίπτωτο από ότι στον αθλητή ελεύθερης πτώσης.

“ελεύθερη πτώση” εννοούμε την πτώση, όταν οι αντιστάσεις του αέρα θεωρούνται αμελητέες και το βάρος σταθερό.

### Εξισώσεις ελεύθερης πτώσης

Αν στις σχέσεις που περιγράφουν την ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση θέσουμε  $v_0 = 0$  και  $a = g$  παίρνουμε τις εξισώσεις:

$$s = \frac{1}{2}gt^2 \quad (1.2.5)$$

και

$$v = gt \quad (1.2.6)$$

Οι σχέσεις αυτές περιγράφουν την ελεύθερη πτώση ενός σώματος, που αφήνεται από την ηρεμία. Από την εξίσωση του διαστήματος φαίνεται ότι, το διάστημα που διανύει ένα σώμα κατά την ελεύθερη πτώση, είναι ανάλογο του τετραγώνου του χρόνου, ενώ από την εξίσωση  $v = gt$  φαίνεται ότι η τιμή της ταχύτητας είναι ανάλογη του χρόνου πτώσης.

## Δραστηριότητα

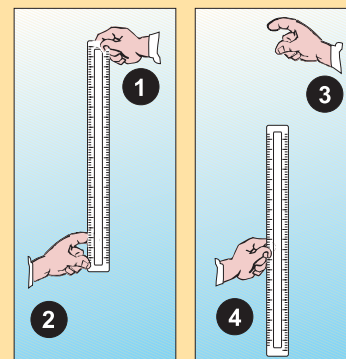
Χρησιμοποιώντας ένα βαθμολογημένο κανόνα υπολογίστε το χρόνο αντίδρασής σας. Τι εννοούμε με την έκφραση “χρόνος αντίδρασης” θα αντιληφθείτε στη συνέχεια.

Δύο μαθητές πειραματίζονται, όπως δείχνουν οι εικόνες. Ο ένας κρατάει το βαθμολογημένο κανόνα κατακόρυφα από το ένα άκρο (θέση 1) και ο άλλος έχει το χέρι του κοντά στην ένδειξη μηδέν του κανόνα (θέση 2). Αμέσως όταν ο πρώτος αφήσει τον κανόνα να πέσει ελεύθερα (θέση 3) ο δεύτερος προσπαθεί να τον πιάσει (θέση 4). Ο χρόνος που μεσολαβεί αποτελεί το χρόνο αντίδρασης.

Στην εικόνα ο μαθητής πιάνει τον κανόνα στην ένδειξη 20. Μπορείτε να υπολογίσετε το χρόνο της αντίδρασής του; Δίνεται ότι  $g = 10\text{m/s}^2$ .

Χρησιμοποιώντας βαθμολογημένους κανόνες πειραματισθείτε ανά δύο και υπολογίστε το χρόνο αντίδρασης του καθενός σας.

Να συγκρίνετε τα αποτελέσματα της έρευνάς σας. Τι συμπέρασμα βγάλατε; Έχουν όλοι οι άνθρωποι τον ίδιο χρόνο αντίδρασης; Βρείτε άλλες περιπτώσεις που χρησιμοποιούμε το χρόνο αντίδρασης.

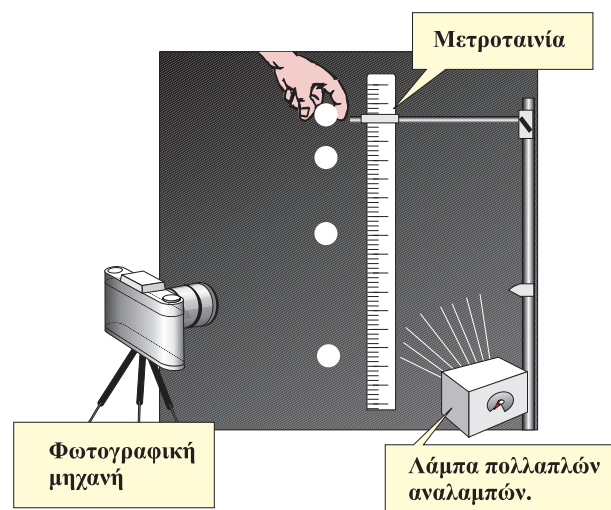


## 1.2.8 Σύγχρονοι τρόποι μελέτης των κινήσεων

Ένας σύγχρονος τρόπος έρευνας των κινήσεων φαίνεται στην εικόνα 1.2.17. Σε ένα σκοτεινό δωμάτιο υπάρχουν:

1) Μια ειδική λάμπα (πολλαπλών αναλαμπών) που ανάβει και σβήνει με σταθερό ρυθμό φωτίζοντας το αντικείμενο του οποίου την κίνηση θέλουμε να μελετήσουμε.

2) Μια φωτογραφική μηχανή με το διάφραγμά της συνεχώς ανοικτό. Κάθε φορά που η λάμπα ανάβει, στο φιλμ της μηχανής αποτυπώνεται η εικόνα του αντικειμένου του οποίου μελετάμε την κίνηση. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται χρονοφωτογράφιση και έχει πολλές εφαρ-



Εικόνα 1.2.17



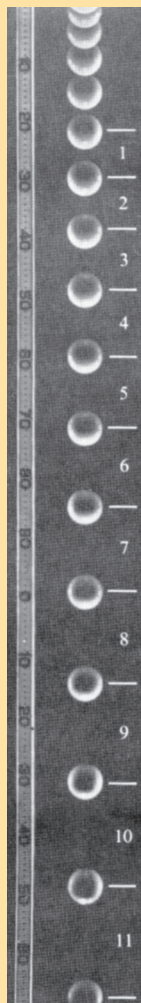
**Εικόνα 1.2.18**

Η χρονοφωτογράφιση χρησιμοποιείται στον αθλητισμό. Στην εικόνα φαίνονται διαδοχικά στιγμιότυπα από ένα άλμα. Μελετώντας τα στιγμιότυπα, ο αθλητής βελτιώνει την τεχνική του.

μογές όπως π.χ. στον αθλητισμό (Εικ. 1.2.18). Με τη μέθοδο αυτή μπορούμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα και την επιτάχυνση στην ελεύθερη πτώση όπως φαίνεται στην παρακάτω δραστηριότητα.

### Δραστηριότητα

### ΠΙΝΑΚΑΣ



Μια σφαίρα του μπιλιάρδου αφήνεται να πέσει ελεύθερα δίπλα σε μια μετροταινία και φωτογραφίζεται η πτώση της με διαδοχικές φωτογραφίες που λαμβάνονται σε μικρά διαστήματα (π.χ. κάθε  $1/30$  του s).

Από την ανάλυση της φωτογραφίας της εικόνας προκύπτει πίνακας τιμών με δέκα διαφορετικές χρονικές στιγμές (1,2,...,11) και μετρήσιμες μεταβολές διαστήματος ( $\Delta s$ ).

Αριθμός διαστή- ματος	Μετα- τόπιση Δs (cm)	Μέση ταχύτητα Δs/Δt=v (cm/s)	Μεταβολή στη μέση ταχύτητα Δv (cm/s)	Επιτάχυνση Δv/Δt (m/s <sup>2</sup> )
1	7,70	231	32	9,6
2	8,75	263		
3	9,80			
4	10,85			
5	11,99			
6	13,09			
7	14,18			
8	15,22			
9	16,31			
10	17,45			
11	18,52			
Μέση επιτάχυνση =				

Από τα διάφορα  $\Delta s$  και τη σταθερή διαφορά χρόνου ( $\Delta t = 1/30s$ ) μεταξύ κάθε φωτογραφίας και της επομένης, προκύπτουν διάφορες τιμές για τη μέση

$$\text{ταχύτητα και την επιτάχυνση } v = \frac{\Delta s}{\Delta t}, \quad g = \frac{\Delta v}{\Delta t}.$$

Συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια του  $1^{\text{ου}} \Delta t = 1/30s$

η σφαίρα πέφτει κατά  $\Delta s = 7,7\text{cm}$ , όπως φαίνεται από την ανάλυση της εικόνας. Έτσι, η μέση ταχύτητα θα είναι:

$$v_1 = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad \text{ή} \quad v_1 = \frac{7,7}{0,033} \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 231\text{cm/s}.$$

Αντίστοιχα, κατά τη διάρκεια του 2<sup>ου</sup>  $\Delta t = 1/30\text{s}$ , η σφαίρα πέφτει κατά  $\Delta s = 8,75\text{cm}$ . Είναι λοιπόν

$$v_2 = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad \text{ή} \quad v_2 = 262,5\text{cm/s}.$$

Από τη μεταβολή του μέτρου της ταχύτητας ( $\Delta v = v_2 - v_1$ ) και τη σταθερή μεταβολή χρόνου ( $\Delta t = 1/30\text{s}$ ) προκύπτει η τιμή της επιτάχυνσης, που αντιστοιχεί στη μεταβολή αυτή, δηλαδή:

$$g = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad \text{ή} \quad g = \frac{262,5 - 231}{0,033} \frac{\text{cm/s}}{\text{s}} \quad \text{ή} \quad g = 960\text{cm/s}^2.$$

Επαναλαμβάνοντας την ίδια εργασία μεταξύ των στιγμών 2 και 3, 3 και 4, 4 και 5 κ.ο.κ., να βρείτε τελικά ένα σύνολο τιμών από τις οποίες να υπολογίσετε το μέσο όρο της επιτάχυνσης της βαρύτητας.

Πρέπει όμως να τονίσουμε ότι, για τη μελέτη της πτώσης των σωμάτων επιλέγουμε μικρά διαστήματα, σ' ένα συνολικό μήκος που να μην υπερβαίνει τα 2m και σώματα μεγάλης πυκνότητας, ώστε να είναι πρακτικά αμελητέα η αντίσταση του αέρα. Οι αποκλείσεις των τιμών που βρήκατε από τη γνωστή τιμή της επιτάχυνσης της βαρύτητας οφείλονται στα πειραματικά σφάλματα.

## Η πειραματική μέθοδος



Σε αντίθεση με τον Αριστοτέλη, που βάσιζε τα συμπεράσματά του μόνο στο λογικό συλλογισμό, ο Γαλιλαίος κατέληγε σ' αυτά με βάση πειραματικά δεδομένα, λεπτομερειακές παρατηρήσεις και λογικές αιτιολογήσεις. Ο πειραματικός τρόπος έρευνας που θεμελίωσε ο Γαλιλαίος αποτελεί σήμερα το θεμέλιο των Φυσικών Επιστημών. Όμως αυτό δεν αποκλείει το να προηγείται σε πολλές περιπτώσεις ο καθαρά λογικός συλλογισμός και να ακολουθεί το πείραμα ως επιβεβαίωση. Έτσι παραδείγματος χάρη, στη θεμελίωση της σύγχρονης Πυρηνικής Φυσικής προηγήθηκαν οι λογικοί συλλογισμοί του Αϊνστάιν, σχετικά με την ισοδυναμία μάζας και ενέργειας (1905) και πέρασαν περίπου 40 χρόνια (1944) για να επιβεβαιωθεί, με την ατομική δόμδα, η σχετική θεωρία.



Σήμα Κ.Ο.Κ.

## Μήκος φρεναρίσματος και απόσταση ασφαλείας

Σύμφωνα με τον κώδικα οδικής κυκλοφορίας, οι οδηγοί πρέπει να διατηρούν απόσταση ασφαλείας από το προπορευόμενο όχημα. Η απόσταση αυτή εξαρτάται από την ταχύτητα με την οποία κινούνται τα οχήματα. Η απόσταση ασφαλείας είναι το άθροισμα δύο διαδοχικών διαστημάτων: α) αυτού που διανύει το όχημα στο χρονικό διάστημα μεταξύ της αισθητοποίησης του εμποδίου και της έναρξης της πέδησης (φρεναρίσματος) και β) του διαστήματος το οποίο διανύει έως ότου ακινητοποιηθεί. Το πρώτο ονομάζεται διάστημα αντίδρασης και το άλλο διάστημα πέδησης.

Το διάστημα αντίδρασης δεν οφείλεται στην αργοπορία του οδηγού να ενεργοποιήσει τα φρένα πατώντας το αντίστοιχο πεντάλ, αλλά στο βιολογικό χαρακτηριστικό του **χρόνου αντίδρασης**, δηλαδή το χρονικό διάστημα που απαιτείται για να επεξεργαστεί ο εγκέφαλος το οπτικό ή το ακουστικό ερέθισμα, να σταλεί το νευρικό ερέθισμα στους αντίστοιχους μύες και αυτοί με τη σειρά τους να ολοκληρώσουν την αντίδρασή τους. Ο χρόνος αντίδρασης εξαρτάται από την καλή φυσική κατάσταση του οργανισμού και αυξάνεται σε περιπτώσεις κατανάλωσης αλκοόλ, λήψης φαρμάκων και υπνηλίας. Στο διάστημα αντίδρασης το όχημα κινείται με την ταχύτητα την οποία είχε τη στιγμή που δημιουργήθηκε το ερέθισμα στο νευρικό σύστημα του οδηγού, δηλαδή την αρχική ταχύτητα  $v_0$ . Έτσι για το διάστημα αυτό ισχύει η σχέση:

$$s_a = v_0 t_a \quad (\alpha)$$

όπου  $t_a$  ο χρόνος αντίδρασης.

Το διάστημα πέδησης (φρεναρίσματος) διανύεται από το όχημα με σταθερή επιβράδυνση, εφόσον ο οδηγός ασκεί σταθερή δύναμη στο πεντάλ. Για το διάστημα αυτό, όπως μπορεί να αποδειχθεί από τις εξισώσεις της επιβραδυνόμενης κίνησης, ισχύει η σχέση:

$$s = \frac{v_0^2}{2a} \quad (\beta)$$

όπου  $a$  είναι η επιβράδυνση του οχήματος.

Το διάστημα πέδησης είναι:

α) Αντιστρόφως ανάλογο προς την τιμή της επιβράδυνσης  $a$  η οποία εξαρτάται από την κατάσταση του οδοστρώματος (στεγνό ή βρεγμένο), την κατάσταση των ελαστικών (βαθμός φθοράς της επιφάνειας που εφάπτεται με το οδόστρωμα) και την αποτελεσματικότητα του συστήματος πέδησης, β) ανάλογο του τετραγώνου της αρχικής ταχύτητας  $v_0$ .

Συνεπώς ένα όχημα που κινείται με αρχική ταχύτητα  $v_0$  θα ακινητοποιηθεί σε απόσταση:

$$s = v_0 t_a + \frac{v_0^2}{2a} \quad (\gamma)$$

Επειδή οι παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν το διάστημα ακινητοποίησης ενός οχήματος μεταβάλλονται ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες, την κατάσταση του οχήματος, τη φυσική κατάσταση του οδηγού, κ.α η απόσταση ασφαλείας που προτείνεται από την Τροχαία είναι μεγαλύτερη από την απόσταση ακινητοποίησης.

Ο χρόνος αντίδρασης για έναν οδηγό σε καλή φυσική κατάσταση είναι περίπου 1s και έστω ότι η επιβράδυνση είναι  $a = 5\text{m/s}^2$ . Με τη βοήθεια της προηγούμενης σχέσης μπορούμε να υπολογίσουμε την απόσταση ακινητοποίησης ενός οχήματος που κινείται με ταχύτητα  $v_0 = 72\text{km/h}$ .

Αν μετατρέψουμε την ταχύτητα αυτή σε μονάδες του συστήματος S.I., δηλαδή σε m/s έχουμε:

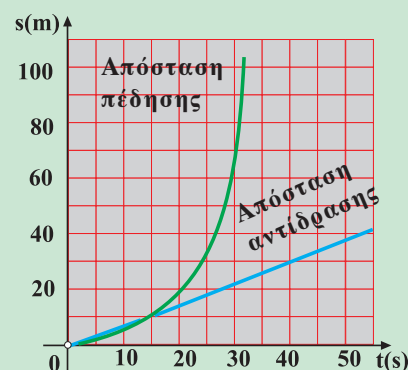
$$v_0 = \frac{72 \cdot 1.000\text{m}}{3.600\text{s}} = 20\text{m/s}.$$

Αντικαθιστώντας στη σχέση (γ) προκύπτει ότι:

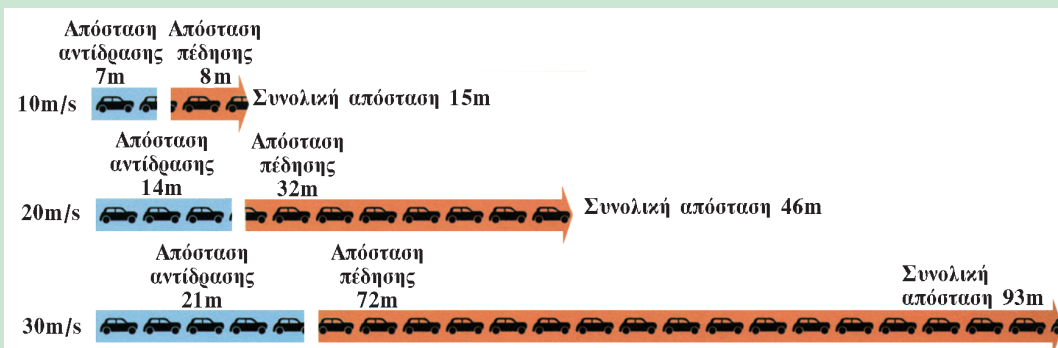
$$s = 20\text{m} + 40\text{m} = 60\text{m}.$$

Από τα αριθμητικά αυτά αποτελέσματα προκύπτει ότι το διάστημα της πέδησης ήταν διπλάσιο από το διάστημα αντίδρασης. Το συμπέρασμα αυτό δεν ισχύει για άλλες ταχύτητες. Αν επαναλάβουμε τη διαδικασία για άλλες τιμές ταχύτητας η σχέση μεταξύ των διαστημάτων αλλάζουν. Στην εικόνα 1 φαίνονται οι γραφικές παραστάσεις των αποστάσεων αντίδρασης και των αποστάσεων πέδησης για οδηγό με φυσιολογικά αντανακλαστικά και στεγνό οδόστρωμα (επιβράδυνση  $6,75\text{m/s}^2$ ). Από τη γραφική παράσταση προκύπτει ότι η απόσταση πέδησης είναι ανάλογη του τετραγώνου της αρχικής ταχύτητας του οχήματος.

Στην εικόνα 2 έχουν παρασταθεί τα διαστήματα αντίδρασης και πέδησης για τρεις τιμές ταχύτητας, με



Εικόνα 1



Εικόνα 2



δεδομένο ότι ο οδηγός έχει φυσιολογικά αντανακλαστικά, ο δρόμος είναι στεγνός, το σύστημα πέδησης και τα λάστιχα του αυτοκινήτου είναι εντός των προδιαγραφών του κατασκευαστή ενός οχήματος.

Από τα στοιχεία της εικόνας 2 προκύπτει ότι, υπό τις προϋποθέσεις που προαναφέραμε, η απόσταση ακινητοποίησης ενός οχήματος εξαρτάται κυρίως από την απόσταση πέδησης δηλαδή από την ταχύτητα του αυτοκινήτου τη στιγμή που υπέπεσε στην αντίληψη του οδηγού η αιτία η οποία του επιβάλλει να ακινητοποιήσει το όχημά του. Για το λόγο αυτό τόσο τα όρια ταχύτητας που αναγράφονται στις πινακίδες της τροχαίας όσο και οι κανονισμοί που αναφέρονται στην απόσταση ασφαλείας μεταξύ των οχημάτων πρέπει να τηρούνται από τους οδηγούς.



### Οι ζώνες ασφαλείας και οι αερόσακοι

Οι ζώνες ασφαλείας έχουν σχεδιαστεί να προστατεύουν τα άτομα που ταξιδεύουν με αυτοκίνητο όταν



Εικόνα 1

συμβεί ένα ατύχημα (Εικ. 1). Οι τραυματισμοί του οδηγού και των επιβατών οφείλονται στην απότομη επιβράδυνση του οχήματος. Όπως γνωρίζουμε σύμφωνα με τον πρώτο νόμο του Νεύτωνα, κάθε κινούμενο σώμα τείνει να διατηρεί σταθερή την κινητική του κατάσταση. Την ιδιότητα αυτή την ονομάσαμε αδράνεια.

Έτσι τα σώματα των επιβατών τείνουν να κινούνται προς τα εμπρός ενώ το όχημα επιβραδύνεται. Αποτέλεσμα αυτού είναι ο οδηγός και ο επιβάτης του μπροστινού καθίσματος, να χτυπήσουν στο τιμόνι και στο παρμπρίζ του αυτοκινήτου αντίστοιχα.

Κατά την πρόσκρουση ενός αυτοκινήτου σε σταθερό εμπόδιο, π.χ. τοίχο, ο χρόνος στον οποίο το όχημα σταματάει είναι πολύ μικρός, συνήθως κλάσμα του δευτερολέπτου. Έτσι, σύμφωνα με το δεύτερο νόμο

του Νεύτωνα,  $F=ma$ , ή  $F = m \frac{\Delta v}{\Delta t}$ , η δύναμη  $F$  είναι

πολύ μεγάλη και το αποτέλεσμα της σύγκρουσης πολύ σοβαρό. Σε πολλά αυτοκίνητα το εμπρόσθιο τμήμα έχει σχεδιαστεί να θραύεται ώστε ο χρόνος σύγκρουσης να γίνεται μεγαλύτερος. Ίσως για το λόγο αυτό οι προφυλακτήρες των αυτοκινήτων δεν είναι πλέον μεταλλικοί.

Ο αερόσακος είναι ένα σύστημα (Εικ. 2), σχεδιασμένο να φουσκώνει κατά τη σύγκρουση.

Έτσι, προστατεύονται τα σώματα των επιβατών από την πρόσκρουση στο τιμόνι και το παρμπρίζ του αυτοκινήτου και επιπλέον αυξάνει το χρόνο που το σώμα των επιβατών ακινητοποιείται.



Ωστόσο, οι περισσότεροι τραυματισμοί των επιβατών

δεν οφείλονται στην απότομη επιβράδυνση του οχήματος αλλά στο γεγονός ότι οι επιβάτες δεν φοράνε τις ζώνες ασφαλείας.

**Εικόνα 2**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

**Δυναμική** ονομάζεται η ενότητα της Φυσικής που μελετά τις δυνάμεις και τα αποτελέσματά τους. Στη μία διάσταση μελετά τη σχέση της δύναμης με την κίνηση σε ευθεία γραμμή. Η δύναμη είναι αποτέλεσμα αλληλεπίδρασης μεταξύ δύο σωμάτων. Μία δύναμη όταν ασκείται σ' ένα σώμα είναι δυνατό να το παραμορφώσει ή να του μεταβάλει την κινητική του κατάσταση. Η **δύναμη είναι μέγεθος διανυσματικό** και έχει μονάδα μέτρησης στο διεθνές σύστημα το 1 Newton,  $1\text{N} = 1\text{kg m/s}^2$ .

Η μέτρηση της δύναμης γίνεται με το ζυγό ελατηρίου ή με το δυναμόμετρο και στηρίζεται στην ελαστική παραμόρφωση που προκαλεί η δύναμη όταν ασκηθεί σ' αυτό. Η **ελαστική παραμόρφωση** διέπεται από το **νόμο του Hooke** και διατυπώνεται ως εξής: “Οι ελαστικές παραμορφώσεις είναι ανάλογες με τις δυνάμεις που τις προκαλούν”. Ο νόμος του Hooke εκφράζεται με τη σχέση  $F = kx$ .

Όταν σε κάποιο σώμα ενεργούν δύο ή περισσότερες δυνάμεις ταυτόχρονα στο ίδιο σημείο, η δύναμη που μπορεί να τις αντικαταστήσει λέγεται **συνισταμένη**  $\Sigma F$  ή  $F$ , ενώ οι δυνάμεις που αντικαθιστά λέγονται **συνιστώσες** και η διαδικασία ονομάζεται σύνθεση. Για τη σύνθεση συγγραμμικών δυνάμεων  $F_1$  και  $F_2$  ίδιας φοράς ισχύει η σχέση:

$$F = F_1 + F_2$$

ενώ για δυνάμεις  $F_1$ ,  $F_2$  αντίθετης φοράς με  $F_2 > F_1$ :

$$F = F_2 - F_1.$$

Σύμφωνα με τον **πρώτο νόμο του Νεύτωνα**, αν η συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται σ' ένα σώμα είναι μηδέν τότε αυτό ή ηρεμεί ή κινείται ευθύγραμμα και ομαλά. Αντίθετα, όταν η συνισταμένη των δυνάμεων δεν είναι μηδέν, τότε σύμφωνα με τον **δεύτερο νόμο του Νεύτωνα**, που είναι ο **θεμελιώδης νόμος της Μηχανικής**, το σώμα αποκτά επιτάχυνση  $\vec{a}$  ανάλογη με την συνισταμένη δύναμη:

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

Η κατεύθυνση της επιτάχυνσης είναι ίδια με την κατεύθυνση της δύναμης.

**Αδράνεια** είναι η ιδιότητα που έχουν τα σώματα να αντιστέκονται στη μεταβολή της κινητικής τους κατάστασης. Μέτρο της αδράνειας ενός σώματος αποτελεί η μάζα του που λέγεται και αδρανειακή μάζα.

Η **αδρανειακή μάζα**  $m$  προκύπτει από τη σχέση:

$$m = \frac{F}{a}.$$

**Βαρυτική μάζα** λέγεται η μάζα που προκύπτει από τη μέτρηση της δύναμης της βαρύτητας πάνω σ' αυτή:

$$m = \frac{B}{g}.$$

Η βαρυτική και αδρανειακή μάζα είναι ίσες.

**Ελεύθερη πτώση** εκτελεί ένα σώμα όταν το αφήσουμε να πέσει από κάποιο ύψος και η μόνη δύναμη που ενεργεί σ' αυτό είναι το βάρος του, το οποίο θεωρείται σταθερό, ενώ θεωρείται αμελητέα η αντίσταση του αέρα. Οι εξισώσεις της ελεύθερης πτώσης είναι:

Εξίσωση του διαστήματος  $s = \frac{1}{2} g t^2$

Εξίσωση της ταχύτητας  $v = g t.$