



Εικόνα 2.1

Η βάρκα αρχίζει να κινείται προς την ακτή.
Το σκοινί ασκεί στη βάρκα δύναμη.



Εικόνα 2.2

Το καρφί σπρώχνεται στο ξύλο.
Το σφυρί ασκεί στο καρφί δύναμη.



Εικόνα 2.3

Η ρακέτα αλλάζει την πορεία της μπάλας.
Η ρακέτα ασκεί δύναμη στη μπάλα.

Κίνηση και δύναμη

Στην προηγούμενη ενότητα περιγράψαμε τις κινήσεις των σωμάτων, δηλαδή πώς κινούνται τα σώματα. Το επόμενο βήμα είναι να προχωρήσουμε από την περιγραφή, στην ερμηνεία των κινήσεων. Δηλαδή να καταλάβουμε την αιτία που καθορίζει τον τρόπο που θα κινηθεί ένα σώμα. Σ' αυτή την προσπάθεια σημαντικό ρόλο παίζει η έννοια της δύναμης.

2.1 Δυνάμεις

Τι είναι δύναμη; Η απλούστερη αντίληψη που έχουμε είναι ότι: δύναμη ασκείται σ' ένα σώμα όταν αυτό σπρώχνεται ή τραβιέται. Αν και τις δυνάμεις δεν τις βλέπουμε, εντούτοις αντιλαμβανόμαστε τα αποτελέσματά τους.

Δένουμε με σκοινί μια βάρκα και τη τραβάμε προς τη ξηρά. Η βάρκα επιταχύνεται. Λέμε ότι στη βάρκα ασκείται δύναμη (εικόνα 2.1).

Χτυπάμε ένα καρφί με ένα σφυρί. Το καρφί σπρώχνεται μέσα στο ξύλο. Λέμε ότι στο καρφί ασκείται δύναμη (εικόνα 2.2).

Για να «καρφώσουμε» τη μπάλα του βόλεϋ πρέπει να την χτυπήσουμε δυνατά με το χέρι μας για να της αλλάξουμε πορεία. Λέμε ότι στη μπάλα ασκούμε δύναμη.

Για να αλλάξουμε την πορεία της μπάλας του τένις πρέπει να την χτυπήσουμε με τη ρακέτα. Λέμε ότι η ρακέτα ασκεί δύναμη στη μπάλα του τένις (εικόνα 2.3).

Οι δυνάμεις προκαλούν μεταβολή στην ταχύτητα των σωμάτων.

Τί άλλο όμως προκαλούν οι δυνάμεις εκτός από μεταβολή της ταχύτητας;

Καθώς φυσάει ο άνεμος λυγίζουν τα δένδρα: το δένδρο παραμορφώνεται. Λέμε ότι στο δένδρο ασκείται δύναμη.

Με τα χέρια μας πιέζουμε ένα μπαλόνι: το μπαλόνι παραμορφώνεται. Λέμε ότι στο μπαλόνι ασκείται δύναμη.

Τραβάμε ένα ελατήριο και το επιμηκύνουμε. Το ελατήριο παραμορφώνεται. Λέμε ότι στο ελατήριο ασκείται δύναμη (εικόνα 2.4).

Οι δυνάμεις προκαλούν παραμόρφωση των σωμάτων.

Συχνά μπορεί να εμφανίζονται και τα δυο αποτελέσματα μιας δύναμης. Για παράδειγμα όταν χτυπάμε με τη ρακέτα ένα μπαλάκι του τένις, το μπαλάκι παραμορφώνεται και επιταχύνεται (μεταβάλλεται η ταχύτητά του).

Παρατήρησε ότι σε όλα τα προηγούμενα παραδείγματα η δύναμη που ασκείται σε ένα σώμα προέρχεται πάντοτε από κάποιο άλλο σώμα. Στη φύση φαίνεται να υπάρχουν πολλές και διαφορετικές δυνάμεις. Το δάπεδο ασκεί δύναμη στα πέλματα των παπουτσιών μας, το οδόστρωμα στα ελαστικά των αυτοκινήτων, ο Ήλιος στη Γη.

Έχουν άραγε όλες οι δυνάμεις κάποιο κοινό χαρακτηριστικό;

Η απάντηση σ' αυτό το ερώτημα δόθηκε από το Νεύτωνα πριν από περίπου 300 χρόνια. Ο Νεύτωνα υποστήριξε ότι στη φύση υπάρχει συμμετρία. Δεν υπάρχουν κάποια σώματα που μόνο ασκούν δυνάμεις και κάποια άλλα που μόνο δέχονται την επίδραση δυνάμεων. Οι δυνάμεις εμφανίζονται πάντοτε ανά δύο μεταξύ δύο σωμάτων. **Λέμε ότι τα σώματα αλληλεπιδρούν.** Ποτέ και σε καμία περίπτωση δεν εκδηλώνεται μια και μοναδική δύναμη.

Όταν τραβάμε τη βάρκα, μας τραβάει και αυτή, όπως διαπιστώνουμε από το σφίξιμο του σχοινιού στα χέρια μας. Το καρφί ασκεί δύναμη στο σφυρί και μεταβάλλει την κίνησή του.

Κατάταξη δυνάμεων

Για να μελετήσουμε τις δυνάμεις, τις κατατάσσουμε σε κατηγορίες. Σε μια πρώτη προσέγγιση οι δυνάμεις διακρίνονται σε δυο κατηγορίες:

Δυνάμεις που ασκούνται κατά την επαφή δύο σωμάτων και δυνάμεις που ασκούνται από απόσταση.

Δυνάμεις επαφής ασκούνται όταν ένα σώμα βρίσκεται σε επαφή με κάποιο άλλο σώμα. Παραδείγματα δυνάμεων επαφής είναι:

- α) Οι δυνάμεις που ασκούνται στα σώματα από σχοινιά ή ελατήρια.
- β) Δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ σωμάτων κατά τις συγκρούσεις τους.
- γ) Η δύναμη της τριβής ανάμεσα σε δυο επιφάνειες.
- δ) Η δύναμη που ασκείται από ένα υγρό στα τοιχώματα του δοχείου μέσα στο οποίο περιέχεται κλπ.

Η βαρυτική δύναμη ασκείται από τη Γη και σε σώματα



Εικόνα 2.4

Το χέρι μας προκαλεί αύξηση του μήκους του ελατηρίου. Το χέρι ασκεί δύναμη στο ελατήριο



Εικόνα 2.5

Το σφυρί και το καρφί αλληλεπιδρούν. Το σφυρί ασκεί στο καρφί δύναμη, αλλά και το καρφί ασκεί δύναμη στο σφυρί.



Εικόνα 2.6

Ο Ήλιος και η Γη αλληλεπιδρούν από απόσταση.
Ο Ήλιος ασκεί δύναμη στη Γη αλλά και η Γη ασκεί δύναμη στον Ήλιο.

που δεν αγγίζουν την επιφάνειά της, όπως αλεξιπτωτιστές, αεροπλάνα ή δορυφόροι. Η βαρυτική δύναμη είναι παράδειγμα δύναμης που ασκείται από απόσταση (εικόνα 2.6). Οι ηλεκτρικές και μαγνητικές δυνάμεις επίσης ασκούνται από απόσταση.



Κατάδυση στη Φυσική

Και οι πολλές γίνονται τέσσερις



Αν και θα μπορούσαμε να απαριθμήσουμε εκατοντάδες διαφορετικά είδη δυνάμεων οι φυσικοί σήμερα τις ομαδοποιούν σε τέσσερις βασικές κατηγορίες, που ονομάζονται θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις. Κάθε δύναμη αποτελεί εκδήλωση μιας από τις θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις. Για παράδειγμα όλες οι δυνάμεις ακόμα και αυτές που ασκούνται κατά την επαφή δυο σωμάτων είναι αποτέλεσμα της ηλεκτρομαγνητικής αλληλεπίδρασης μεταξύ των ατόμων των επιφανειών τους.

Όλες οι θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις εκδηλώνονται από απόσταση χωρίς να είναι αναγκαία η ύπαρξη ύλης ανάμεσα στα δυο σώματα. Παράδειγμα η βαρυτική αλληλεπίδραση ανάμεσα στη Γη και τον Ήλιο.

Η καθαρή εικόνα των αλληλεπιδράσεων από απόσταση φιλοτεχνήθηκε κυρίως στην Μηχανική του Νεύτωνα. Αργότερα όμως αμφισβητήθηκε και τελικά αντικαταστάθηκε τον εικοστό αιώνα από μια άλλη εικόνα όπου οι δυνάμεις ασκούνται με μια νέα μορφή επαφής και όχι από απόσταση. Η εικόνα αυτή προκύπτει από τη θεωρία της σχετικότητας του Αϊνστάιν και ο νέος αυτός μηχανισμός δυνάμεων επαφής συνδέεται με την έννοια του πεδίου. Η καινούργια αυτή περιγραφή των θεμελιωδών αλληλεπιδράσεων ταιριάζει καλύτερα στη φύση, όπως δείχνουν τα πειράματα. Για αυτό το λόγο αποτέλεσε και το θεμέλιο λίθο για την οικοδόμηση της σύγχρονης φυσικής.

Έτσι γίνεται πάντα στην επιστήμη! Η μια εικόνα διαδέχεται την άλλη στην προσπάθεια των επιστημόνων να περιγράψουν με τον ακριβέστερο τρόπο την πραγματικότητα της φύσης.

2.2 Η Δύναμη ως διάνυσμα

Μέτρηση της δύναμης

Οι δυνάμεις γίνονται αντιληπτές μόνο μέσα από τα αποτελέσματά τους, δηλαδή την παραμόρφωση και την αλλαγή της ταχύτητας των σωμάτων.

Είναι δυνατόν να χρησιμοποιήσουμε αυτά τα αποτελέσματα για να μετρήσουμε και να συγκρίνουμε δυνάμεις;

Ας χρησιμοποιήσουμε την παραμόρφωση (επιμήκυνση) ενός ελατηρίου, όπως αυτό που παριστάνει η εικόνα 2.8, για να προσδιορίσουμε τη μονάδα της δύναμης. Δεχόμαστε ότι η δύναμη που επιμηκύνει το ελατήριο κατά μια μονάδα μήκους έχει μέτρο ίσο με μια μονάδα δύναμης. Ένα τέτοιο ελατήριο ονομάζεται **πρότυπο ελατήριο**.

Για να μετρήσουμε μεγαλύτερες δυνάμεις θα πρέπει να βρούμε τη σχέση της επιμήκυνσης του ελατηρίου με τη δύναμη που την προκαλεί.

Παρατήρησε την εικόνα 2.9. Στην περίπτωση (α), η δύναμη F προκαλεί επιμήκυνση 10cm. Στη (β), διπλάσια δύναμη ($2F$) προκαλεί διπλάσια επιμήκυνση (20cm). Στη (γ), τριπλάσια δύναμη ($3F$) προκαλεί τριπλάσια επιμήκυνση (30cm). Γενικεύοντας, καταλήγουμε στο συμπέρασμα που είχε ήδη διατυπώσει τον 17ο αιώνα ο Άγγλος φυσικός Ρόμπερτ Χούκ (Hook):

Η επιμήκυνση του ελατηρίου είναι ανάλογη με τη δύναμη που ασκείται σ' αυτό.

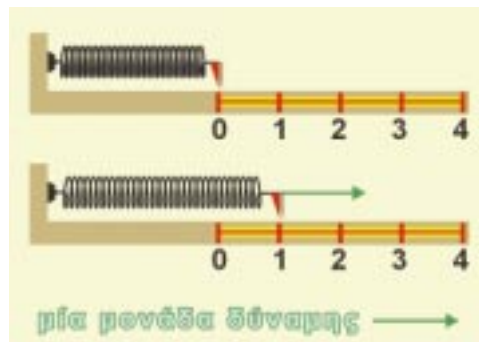
Χρησιμοποιώντας ένα πρότυπο ελατήριο και με βάση το νόμο του Χούκ μπορούμε να μετράμε τις δυνάμεις, από τις επιμηκύνσεις που προκαλούν σ' αυτό.

Έτσι κατασκευάζουμε όργανα μέτρησης δυνάμεων: τα **δυναμόμετρα** (εικόνα 2.10).

Μπορούμε να διαλέξουμε το πρότυπο ελατήριο έτσι ώστε να ορίσουμε τη μονάδα δύναμης ως εξής: Επιμήκυνση 1cm του ελατηρίου να προκαλείται από μια μονάδα δύναμης. Η μονάδα δύναμης στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (S.I.) ονομάζεται 1N (Newton – Νιούτον).

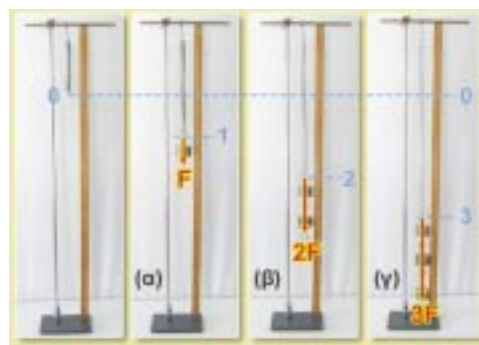
Ο διανυσματικός χαρακτήρας της δύναμης

Στα σώματα συχνά ασκούνται περισσότερες από μια δυνάμεις. Για παράδειγμα στην εικόνα 2.11 τα μέλη της μιας ομάδας τραβούν το αμαξάκι προς τη μια κατεύθυνση ενώ τα μέλη της άλλης, προς την αντίθετη. Εάν οι δυο ομά-



Εικόνα 2.8

Η επιμήκυνση είναι του ελατηρίου είναι ανάλογη της δύναμης που την προκαλεί.



Εικόνα 2.9

Εφαρμόζοντας διπλάσια και τριπλάσια δύναμη στο ελατήριο, η επιμήκυνσή του διπλασιάζεται και τριπλασιάζεται, αντίστοιχα.

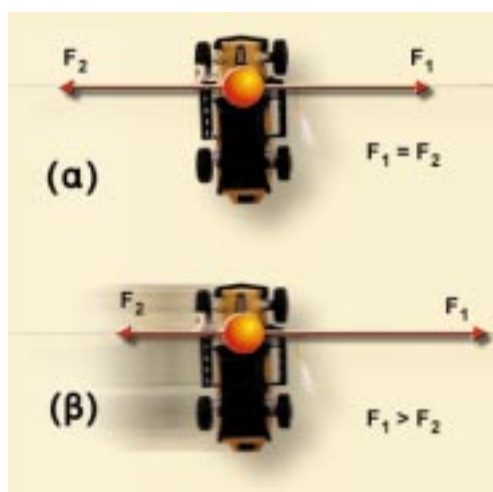


Εικόνα 2.10
Δυναμόμετρο



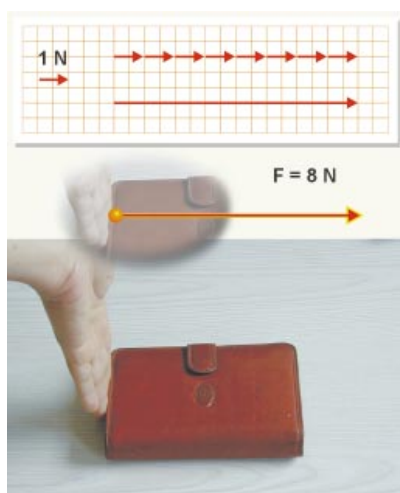
Εικόνα 2.11

Κάθε ομάδα παιδιών προσπαθεί να τραβήξει το αμαξάκι προς το μέρος της, ασκώντας του δύναμη.



Εικόνα 2.12

- (α): Οι δυο δυνάμεις έχουν ίσα μέτρα και αντίθετες φορές : το αμαξάκι παραμένει ακίνητο.
 (β): Η δύναμη F_1 έχει μεγαλύτερο μέτρο από την F_2 : Το αμαξάκι κινείται προς τα δεξιά.



Εικόνα 2.13

Η δύναμη που ασκούμε στην κασετίνα παριστάνεται με ένα διάνυσμα.

δες ασκούν δυνάμεις ίσου μέτρου, η συνολική δύναμη στο αμαξάκι είναι μηδέν. Το αμαξάκι παραμένει ακίνητο (2.12.α). Εάν όμως η μια ομάδα ασκεί μεγαλύτερη δύναμη από την άλλη, τότε το αμαξάκι αρχίζει να επιταχύνεται (2.12.β).

Για να περιγράψουμε τα αποτελέσματα δυνάμεων που ασκούνται στην *ίδια διεύθυνση* αλλά με αντίθετη φορά χρησιμοποιούμε πρόσημα (όπως κάναμε και στην περίπτωση της ταχύτητας και της επιτάχυνσης): οι δυνάμεις που έχουν κάποια φορά (π.χ. προς τα δεξιά) θεωρούνται θετικές, ενώ αυτές που έχουν αντίθετη (π.χ. προς τα αριστερά), αρνητικές.

Στην εικόνα 2.11 όλες οι δυνάμεις με φορά προς τα δεξιά προστίθενται ώστε, να προκύψει μια συνολική προς τα δεξιά δύναμη. Το ίδιο ισχύει και για τις δυνάμεις με φορά προς τα αριστερά.

Εάν η ομάδα που τραβάει προς τα δεξιά ασκεί μεγαλύτερη δύναμη στο αμαξάκι από την ομάδα που τραβάει προς τα αριστερά, τότε το αμαξάκι κινείται προς τα δεξιά. Δηλαδή η συνολική δύναμη είναι θετική.

Επομένως, στην περίπτωση αυτή, για να βρούμε τη *συνολική δύναμη που ασκείται σ' ένα σώμα* αθροίζουμε όλες τις δυνάμεις λαμβάνοντας υπόψη τα πρόσημα τους.

Κατά τη μελέτη των κινήσεων, είδαμε ότι ένα φυσικό μέγεθος το οποίο εκτός από μέτρο έχει και κατεύθυνση χαρακτηρίζεται ως διανυσματικό και παριστάνεται με ένα βέλος. Η δύναμη είναι ένα φυσικό μέγεθος που εκτός από μέτρο έχει και κατεύθυνση. Επομένως και η δύναμη είναι διανυσματικό μέγεθος που παριστάνεται με ένα βέλος. Το σημείο εφαρμογής του διανύσματος που παριστάνει τη δύναμη, είναι το σημείο του σώματος, στο οποίο ασκείται.

Η κατεύθυνση της δύναμης καθορίζει και τη κατεύθυνση του διανύσματος. Το μέτρο της δύναμης ισούται με το μήκος του διανύσματος, αν αυτό σχεδιασθεί με κατάλληλη κλίμακα. Εάν διαλέξουμε 1cm να αντιστοιχεί σε 1N τότε η δύναμη 8N παριστάνεται από διάνυσμα μήκους 8cm (εικόνα 2.13).

Πρόσθεση δυνάμεων με την ίδια διεύθυνση

Στο σχήμα 2.14 παριστάνεται ο τρόπος με τον οποίο προσθέτουμε δυνάμεις που έχουν την ίδια διεύθυνση, ώστε να προσδιορίσουμε τη συνολική δύναμη. Η συνολική δύναμη λέγεται **συνισταμένη** και είναι η δύναμη εκείνη που

προκαλεί τα ίδια αποτελέσματα με τις δυνάμεις που προσθέτουμε.

Εάν δύο δυνάμεις με μέτρα F_1 και F_2 έχουν την ίδια διεύθυνση και φορά, η συνισταμένη τους ($F_{ολ}$) έχει τη διεύθυνση και φορά των δυνάμεων και μέτρο :

$$F_{ολ} = F_1 + F_2.$$

Εάν δυο δυνάμεις με μέτρα F_1 και F_2 έχουν αντίθετη φορά, η συνισταμένη τους έχει τη φορά της μεγαλύτερης και μέτρο (εικόνα 2.12) :

$$F_{ολ} = F_1 - F_2.$$

Στην ειδική περίπτωση που οι δυνάμεις έχουν και ίσα μέτρα, η συνισταμένη τους ισούται με το μηδέν. Δύο τέτοιες δυνάμεις λέγονται *αντίθετες*.

Πρόσθεση δυνάμεων με διαφορετικές διευθύνσεις.

Δύο μαθητές δένουν με σπάγκους μια κασετίνα και την ανασκώνουν (Εικόνα 2.15). Κρατούν τους σπάγκους έτσι ώστε να είναι κάθετοι μεταξύ τους. Με τη βοήθεια δυο δυναμόμετρων διαπιστώνουν ότι οι δυνάμεις που ασκούν έχουν μέτρα 4N και 3N αντίστοιχα. Ένας τρίτος μαθητής ασκεί μια δύναμη 5N με κατακόρυφη διεύθυνση και καταφέρνει επίσης να ανασκώσει την κασετίνα.

Πώς ερμηνεύεται αυτό;

Ο τρόπος πρόσθεσης δυο δυνάμεων με διαφορετική διεύθυνση δείχνεται στην εικόνα 2.16. Σχηματίζουμε το παραλληλόγραμμο που έχει πλευρές τα διανύσματα που παριστάνουν τις δυνάμεις. Η διαγώνιος του παραλληλογράμμου, που περνάει από την κοινή αρχή των διανυσμάτων παριστάνει τη συνισταμένη των δυνάμεων.

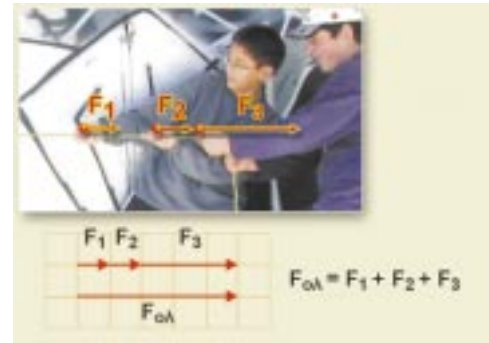
Το μέτρο της συνισταμένης καθορίζεται από το μήκος της διαγώνιου. Η διεύθυνσή της προσδιορίζεται από τη γωνία που σχηματίζει με μια από τις δυο δυνάμεις (ϕ ή θ , εικόνα 2.16). Κάθε μια από αυτές τις γωνίες μπορεί να μετρηθεί με ένα μοιρογνώνιο.

Στην ειδική περίπτωση που οι δυνάμεις είναι κάθετες μεταξύ τους μπορούμε να υπολογίσουμε το μήκος της διαγώνιου εφαρμόζοντας το πυθαγόρειο θεώρημα.

Έτσι βρίσκουμε ότι:

$$F^2 = F_1^2 + F_2^2$$

Στο παράδειγμα μας η συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούν οι δυο μαθητές στη κασετίνα έχει μέτρο F , που υπολογίζεται από την προηγούμενη σχέση:



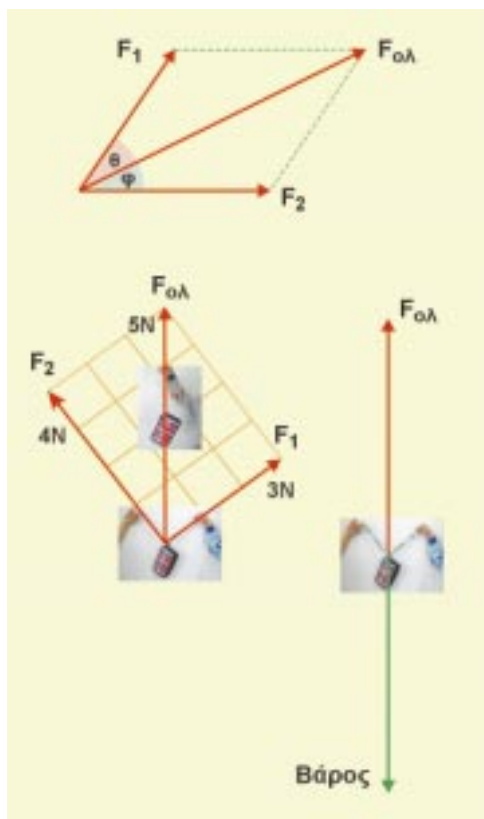
Εικόνα 2.14

Οι μαθητές ασκούν με τα χέρια τους στο αμαξάκι τρεις δυνάμεις ίδιας κατεύθυνσης. Το μέτρο της συνισταμένης είναι ίσο με το άθροισμα των μέτρων τους.



Εικόνα 2.15

Η δύναμη των 5N που ασκεί ο τρίτος μαθητής (β) έχει το ίδιο αποτέλεσμα με τις δυνάμεις που ασκούν οι άλλοι δύο μαζί (α). Έτσι λέμε ότι η συνισταμένη δύναμη των 3 N και 4N που ασκούν οι δύο πρώτοι μαθητές, είναι ίση με τη δύναμη των 5N που ασκεί ο τρίτος.



Εικόνα 2.16

Η συνισταμένη των δυνάμεων F_1 και F_2 παριστάνεται από τη διαγώνιο του παραλληλογράμμου που σχηματίζουν.

$$F^2 = (4N)^2 + (3N)^2$$

$$F^2 = 16N^2 + 9N^2$$

$$F^2 = 25N^2$$

$$F^2 = 5^2 + N^2$$

$$F = 5N$$

Ισορροπία δυνάμεων – ισορροπία υλικού σημείου

Όταν η συνισταμένη δύο ή περισσοτέρων δυνάμεων είναι ίση με το μηδέν, λέμε ότι οι δυνάμεις ισορροπούν.

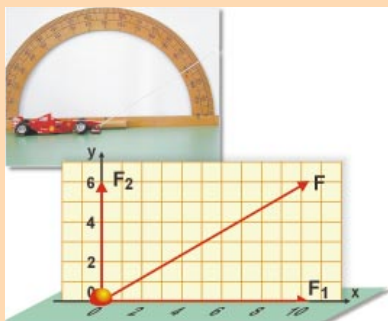
Ένα σώμα, που θεωρείται υλικό σημείο, ισορροπεί όταν η συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται σε αυτό είναι ίση με το μηδέν.

Στο προηγούμενο παράδειγμα η κασετίνα ισορροπεί. Επομένως η συνολική (συνισταμένη) δύναμη είναι ίση με το μηδέν. Αυτό συμβαίνει διότι η συνισταμένη δύναμη που ασκούν οι δύο μαθητές (5N) είναι αντίθετη της δύναμης του βάρους της κασετίνας (εικόνα 2.16).



Διανύσματα δυνάμεων

- Δυο μαθητές της τάξης σου τραβάνε από τα δυο άκρα ένα σχοινί μήκους 10 μέτρων.
Το σχοινί φαίνεται να είναι ευθύγραμμο;
- Κάλεσε έναν μαθητή να προσπαθήσει με το ένα δάχτυλο να σπρώξει το μέσο του σχοινιού.
Μπορούν οι πρώτοι μαθητές να διατηρήσουν το σχοινί ευθύγραμμο;
- Εξήγησε.



Εικόνα 2.17

Ανάλυση δύναμης σε συνιστώσες



Ανάλυση δύναμης

Κάθε δύναμη μπορεί να αναλυθεί σε δυο επιμέρους δυνάμεις που λέγονται συνιστώσες και την έχουν συνισταμένη. Συνήθως η ανάλυση γίνεται σε δυο διευθύνσεις κάθετες μεταξύ τους. Στην εικόνα 2.17 ένα μικρό αυτοκινητάκι τραβιέται με ένα σχοινί που σχηματίζει γωνία 30° με το οριζόντιο έδαφος. Μέσω του σχοινιού ασκείται στο αυτοκινητάκι δύναμη μέτρου $F = 12N$.

Για να αναλύσουμε τη δύναμη σε δυο συνιστώσες, δηλαδή να βρούμε δυο δυνάμεις που θα προκαλούσαν

τα ίδια αποτελέσματα με τη δύναμη F , ακολουθούμε την παρακάτω πορεία:

Σχεδιάζουμε έναν οριζόντιο και έναν κατακόρυφο άξονα.

Η δύναμη F σχεδιάζεται με κατάλληλη κλίμακα και με διεύθυνση τέτοια ώστε να σχηματίζει γωνία 30° με τον οριζόντιο άξονα.

Από το τέλος του διανύσματος που παριστάνει την F φέρνουμε παράλληλες προς τους δυο άξονες. Τα σημεία τομής με τους άξονες καθορίζουν το τέλος των διανυσμάτων της οριζόντιας και της κατακόρυφης συνιστώσας.

Μετρώντας τα μήκη των διανυσμάτων και χρησιμοποιώντας την ίδια κλίμακα με την οποία σχεδιάσαμε την F , μπορούμε να προσδιορίσουμε τα μέτρα των συνιστωσών.



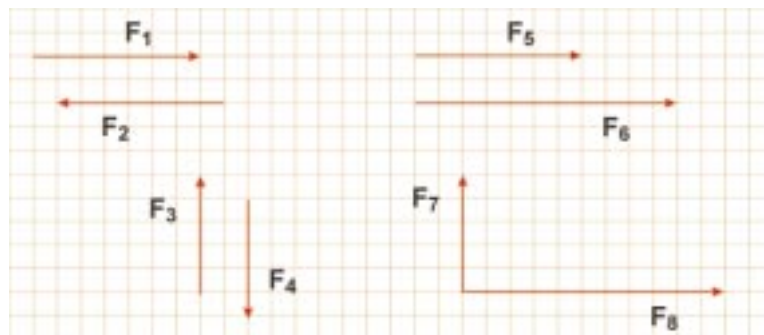
Καράτε

Καράτε σημαίνει άδείο χέρι. Επινόηθηκε τον 17ο αιώνα από τους κατοίκους της Οκινάβα σαν μέσο άμυνας όταν η κατοχή όπλων απαγορεύθηκε από τους Ιάπωνες κυβερνήτες του νησιού. Ίσως χρειάζονται χρόνια προπόνησης, αλλά με την κατάλληλη εξάσκηση και προετοιμασία μερικοί αθλητές του καράτε μαθαίνουν να τεμαχίζουν τσιμεντόλιθους με το χέρι.

Μια εξασκημένη καρατέκα μπορεί να ασκήσει δύναμη 3.000N μετακινώντας το χέρι της με ταχύτητα $11 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$. Ίσως είναι δύσκολο να πιστέψουμε ότι κάτι τόσο μαλακό όσο το χέρι μπορεί στ' αλήθεια να σπάσει κάτι τόσο σκληρό όσο το τσιμέντο. Στην πραγματικότητα όμως τα οστά του ανθρώπινου χεριού μπορούν να αντέξουν δυνάμεις ακόμη και 40 φορές μεγαλύτερες.



ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Συμπλήρωσε το παρακάτω κείμενο:
Οι δυνάμεις προκαλούν μεταβολή στην ή στο των σωμάτων. Οι δυνάμεις εμφανίζονται πάντα ως μεταξύ δυο σωμάτων. Η δύναμη παριστάνεται ως
..... Η επιμήκυνση ενός ελατηρίου είναι ανάλογη με την που ασκείται σ' αυτό. Τα όργανα μέτρησης του μέτρου των δυνάμεων λέγονται
2. Να αναφέρεις παραδείγματα στα οποία οι δυνάμεις προκαλούν μεταβολή στην ταχύτητα των σωμάτων ή τα παραμορφώνουν.
3. **Νόμος του Χουκ και ελαστικότητα**
Ο νόμος του Χουκ εφαρμόζεται σε σώματα που παρουσιάζουν ελαστικότητα. Δηλαδή επανέρχονται στο αρχικό τους σχήμα όταν πάψει να ασκείται πάνω τους η δύναμη που τα παραμορφώνει. Μπορείς να αναφέρεις παραδείγματα ελαστικών σωμάτων εκτός του ελατηρίου;
4. Στο πρότυπο ελατήριο δύναμη ενός 1N προκαλεί μεταβολή 1cm Πόσο θα επιμηκυνθεί το ελατήριο αν κρεμάσουμε ένα κύλινδρο βάρους 5N; Πόσο θα επιμηκυνθεί αν κρεμάσουμε δυο όμοιους κυλίνδρους βάρους 5N ο καθένας; Αγνόησε το βάρος του ελατηρίου.
5. Στο παρακάτω σχήμα παριστάνονται διάφορα ζεύγη δυνάμεων. Να συγκρίνεις τις δυνάμεις κάθε ζεύγους μεταξύ τους. Τι διαφορά και τι ομοιότητα παρουσιάζουν;




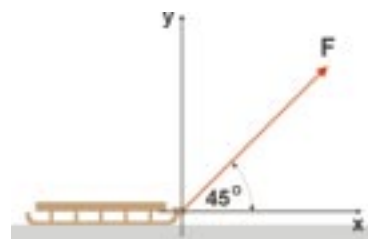
6. Στην εικόνα 2.9α να σχεδιάσετε τις δυνάμεις που ασκούνται στον μεταλλικό κύλινδρο.
7. Ποιες από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστές;
Στην εικόνα 2.15α η συνισταμένη των δυνάμεων 5N και 3N
α) είναι ίση με το βάρος w της κασετίνας;
β) Είναι αντίθετη με το βάρος w της κασετίνας;
γ) έχει μέτρο διπλάσιο του βάρους w της κασετίνας;
δ) τίποτε από τα παραπάνω.
8. Η κασετίνα της εικόνας 2.15α ισορροπεί ενώ σ' αυτή ασκούνται τρεις δυνάμεις $F_1=5\text{N}$, $F_2=3\text{N}$ και του

βάρους της w . Ποιες από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστές;
 Ένα υλικό σημείο ισορροπεί με την επίδραση τριών δυνάμεων όταν:
 α) Η συνισταμένη των δυο δυνάμεων είναι αντίθετη της τρίτης.
 β) Η συνισταμένη των δυο δυνάμεων είναι ίση με την Τρίτη
 γ) Η συνισταμένη των δυο δυνάμεων έχει μέτρο διπλάσιο της τρίτης
 δ) η συνισταμένη όλων των δυνάμεων είναι μηδέν.

9.  Δυο παιδιά σπρώχνουν ένα μπαούλο. Το ένα ασκεί δύναμη 400N και το άλλο δύναμη 300N. Η συνισταμένη δύναμη που προκύπτει είναι ίση 600N. Εξήγησε πως συμβαίνει αυτό.
10. Στην προηγούμενη ερώτηση ποια είναι η μέγιστη τιμή της συνισταμένης δύναμης που μπορεί να εξασκηθεί από τα παιδιά στο μπαούλο; Ποια είναι η ελάχιστη τιμή της συνισταμένης δύναμης;
11. Δυο δυνάμεις με διαφορετικά μέτρα ασκούνται σ' ένα κιβώτιο. Είναι δυνατόν να προκύψει συνισταμένη δύναμη της οποίας το μέτρο να είναι ίσο με το μηδέν; Τι συμβαίνει αν ασκούνται τρεις δυνάμεις και με διαφορετικά μέτρα; Να δικαιολογήσεις την άποψη σου με ένα διάγραμμα.
12.  Είναι δυνατόν μια συνισταμένη δύναμη να έχει μέτρο μικρότερο από μια από τις συνιστώσες; Να εξηγήσεις.

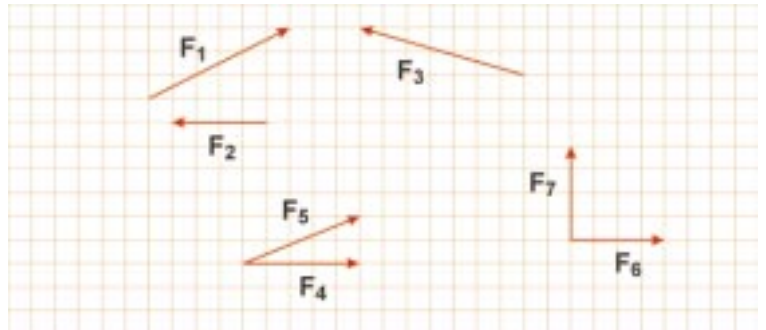
ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Δυο δυνάμεις F_1 και F_2 έχουν το ίδιο μέτρο 10N. Να βρεθεί γραφικά η συνισταμένη τους αν οι δυο δυνάμεις έχουν κοινό σημείο εφαρμογής και σχηματίζουν μεταξύ τους γωνία:
 α) 0° , β) 45° , γ) 60° , δ) 90° , ε) 180°
 Να συγκρίνεις το μέτρο της συνισταμένης. Για ποια γωνία η συνισταμένη παίρνει τη μεγαλύτερη τιμή και για ποια τη μικρότερη;
2.  Ένα μικρό έλκηθρο τραβιέται με ένα σκοινί που σχηματίζει γωνία 45° με το οριζόντιο έδαφος. Μέσω του σκοινιού ασκείται στο έλκηθρο μια δύναμη $F = 50\text{N}$. Να αναλύσεις την F σ' ένα σύστημα οριζόντιου και κατακόρυφου άξονα. Να προσδιορίσεις γραφικά τα μέτρα των δυο συνιστωσών δυνάμεων.
3. Σ' ένα κρίκο συνδέονται δυο νήματα. Μέσω των νημάτων ασκούνται στον κρίκο δυο δυνάμεις με μέτρα $F_1 = 4\text{N}$ και $F_2 = 3\text{N}$. Πόση είναι η συνολική δύναμη που ασκείται στον κρίκο όταν οι δυο δυνάμεις έχουν:
 α) ίδια κατεύθυνση
 β) αντίθετη κατεύθυνση
 γ) σχηματίζουν γωνία 90°



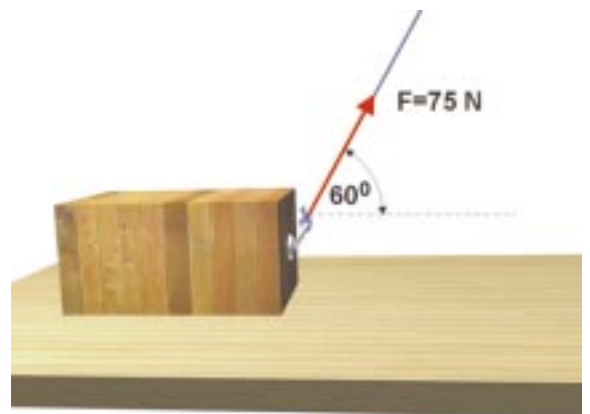
4. Στην εικόνα 2.11 τα δυο παιδιά ασκούν δυνάμεις $F_1 = 50\text{N}$ και $F_2 = 125\text{N}$ και τα άλλα δυο δυνάμεις $F_3 = 75\text{N}$ και $F_4 = 80\text{N}$ προς την αντίθετη κατεύθυνση. Πόση είναι η συνισταμένη των δυνάμεων; Προς ποια κατεύθυνση θα κινηθεί το αμαξάκι;

5. Στο διπλανό σχήμα παριστάνονται τρεις δυνάμεις. Να σχεδιάσεις τις δυνάμεις που ισορροπούν αντίστοιχα τις F_1 , F_2 , F_3 . Οι δυνάμεις F_4 και F_5 έχουν σημείο εφαρμογής το Α και οι δυνάμεις F_6 και F_7 έχουν σημείο εφαρμογής το Β. Να βρεις γραφικά την δύναμη (μέτρο, διεύθυνση, φορά) που θα μπορούσε να τις ισορροπήσει.



6. Ένα ελατήριο επιμηκύνεται 3cm όταν ασκείται πάνω του μια δύναμη 12N.
α) Πόσο θα επιμηκυνθεί αν του ασκηθεί δύναμη 20N;
β) Πόση δύναμη πρέπει να του ασκηθεί για να αυξηθεί το μήκος του κατά 10cm;

7. Ένα βαρύ κιβώτιο σύρεται σ' ένα ξύλινο πάτωμα με ένα σκοινί. Το σκοινί σχηματίζει γωνία 60° με το πάτωμα. Το σκοινί ασκεί στο κιβώτιο δύναμη 75N. Να βρεθεί το μέτρο της συνιστώσας της δύναμης που είναι παράλληλη στο πάτωμα.



8. Σ' ένα αντικείμενο ασκούνται δυο δυνάμεις. Μια οριζόντια με μέτρο 6N και μια κατακόρυφη με μέτρο 8N.
α) Να βρεις το μέτρο και τη διεύθυνση της συνισταμένης των δυο δυνάμεων.
β) Εάν το αντικείμενο ισορροπεί με την επίδραση μιας τρίτης δύναμης να βρεις το μέτρο και την διεύθυνση της.

Νόμοι του Νεύτωνα

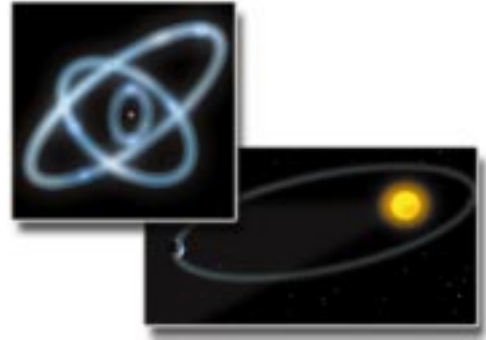
Κατά την περιφορά της Γης γύρω από τον Ήλιο, η ταχύτητά της διαρκώς μεταβάλλεται. Η αιτία που προκαλεί τη μεταβολή της ταχύτητας της Γης είναι η ελκτική δύναμη που ασκεί ο Ήλιος σ' αυτή. *Πώς σχετίζεται η δύναμη που ασκεί ο Ήλιος στη Γη με τη μεταβολή της ταχύτητας της;* Αντίστοιχα, ένα ηλεκτρόνιο περιφέρεται γύρω από τον πυρήνα εξαιτίας της ελκτικής δύναμης που του ασκείται από αυτόν. *Ποια είναι η σχέση της κίνησης του ηλεκτρονίου με τη δύναμη που ασκεί ο πυρήνας σ' αυτό;*

Οι δυνάμεις, εκτός από παραμόρφωση, προκαλούν και αλλαγή στην ταχύτητα, δηλαδή επιτάχυνση των σωμάτων. Η σύνδεση ανάμεσα στη δύναμη και την κίνηση που προκαλεί, μπορεί να συνοψισθεί σε τρεις προτάσεις. Οι προτάσεις αυτές διατυπώθηκαν από τον κορυφαίο Άγγλο φυσικό και μαθηματικό Ισαάκ Νεύτωνα (Newton 1648-1727) και γι' αυτό είναι γνωστές ως νόμοι του Νεύτωνα για την κίνηση.

Ο Ισαάκ Νεύτων άρχισε να επεξεργάζεται τους νόμους για τη κίνηση το 1665 αλλά δεν τους δημοσίευσε μέχρι το 1687. Για περισσότερο από δυο αιώνες οι νόμοι αυτοί αποτέλεσαν τη βάση για την ανάπτυξη της Φυσικής. Ωστόσο, στα τέλη του 19^{ου} και στις αρχές του 20^{ου} αιώνα διαπιστώθηκε ότι τα αποτελέσματα της εφαρμογής των νόμων του Νεύτωνα δεν συμφωνούν πάντοτε με τα πειραματικά δεδομένα. Παρατηρήθηκαν σημαντικές αποκλίσεις σε περιπτώσεις σωμάτων που κινούνται με ταχύτητες που πλησιάζουν την ταχύτητα του φωτός ή σωματιδίων με πολύ μικρές διαστάσεις, όπως τα άτομα. Έτσι, αναπτύχθηκαν η θεωρία της σχετικότητας και η κβαντική θεωρία. Οι προβλέψεις τους βρίσκονται μέχρι σήμερα σε εξαιρετική συμφωνία με τη παρατήρηση και το πείραμα. Παρ' όλα αυτά, οι νόμοι του Νεύτωνα περιγράφουν με ακρίβεια μια μεγάλη κατηγορία κινήσεων. Οι κινήσεις των τρένων, των αυτοκινήτων, των αεροπλάνων, όπως και των ανέμων, των ωκεανών, των ποταμών, καθώς επίσης των δορυφόρων, των διαστημοπλοίων, των πλανητών, των αστερών και των γαλαξιών μελετούνται με βάση τους νόμους του Νεύτωνα.

2.3 Πρώτος νόμος του Νεύτωνα για την κίνηση

Τοποθετούμε ένα ξύλινο κιβώτιο πάνω στο πάτωμα. Σπρώχνουμε το κιβώτιο προς τα εμπρός. Το κιβώτιο θα



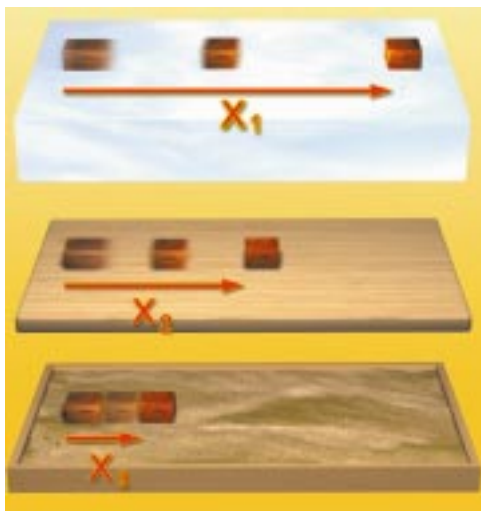
Εικόνα 2.18

Η δύναμη που ασκεί ο πυρήνας στο ηλεκτρόνιο προκαλεί την κίνησή του γύρω απ' αυτόν. Η βαρυτική έλξη, που ασκεί ο Ήλιος στη Γη, προκαλεί την περιφορά της γύρω του.



Εικόνα 2.19

Το μεγάλο ταξίδι του Voyager II. Επιστήμονες απ' όλο τον κόσμο συνεργάστηκαν για να αντιμετωπίσουν προβλήματα που παρουσιάστηκαν καθώς το διαστημόπλοιο έφτανε στον Ποσειδώνα. Για να καθορίσουν την τροχιά του έλαβαν υπόψη τους νόμους του Νεύτωνα.



Εικόνα 2.20

Όσο πιο λεία είναι η επιφάνεια, τόσο λιγότερο αντιστέκεται στην κίνηση του σώματος.



Αδράνεια, μια ιδιότητα της ύλης



- Πάρε ένα βιβλίο και βάλε πάνω του ένα κέρμα.
- Δίπλα στο βιβλίο και στο ύψος του κέρματος βάλε τη γόμα σου.
- Τράβηξε απότομα το βιβλίο οριζόντια.
*Τι παρατηρείς;
Πώς το εξηγείς;*

σταματήσει σχεδόν αμέσως μόλις αποσύρουμε το χέρι μας. Το κιβώτιο σταμάτα γιατί πάνω στην επιφάνειά του, που τριβεται στο πάτωμα, αναπτύσσεται μια δύναμη αντίθετη με τη κίνησή του.

Εάν σπρώξουμε το κιβώτιο σε λείο ξύλινο πάτωμα το κιβώτιο θα ολισθήσει περισσότερο. Η δύναμη που ασκείται από το πάτωμα στο κιβώτιο είναι τώρα μικρότερη. Αν κάνουμε το ίδιο στην παγωμένη επιφάνεια ενός παγοδρομίου, το κιβώτιο θα μετακινηθεί πολύ περισσότερο. Η δύναμη που ασκείται από την παγωμένη επιφάνεια σ' αυτό είναι τώρα ακόμα μικρότερη.

Αν είχαμε ένα πολύ λείο κιβώτιο σ' ένα πολύ ολισθηρό πάτωμα, τότε σχεδόν καμία δύναμη δεν θα ασκούνταν στο κιβώτιο από το πάτωμα, που θα μπορούσε να ελαττώσει την ταχύτητά του. Έτσι, το κιβώτιο θα μπορούσε να ολισθήσει με σχεδόν σταθερή ταχύτητα για μια μεγάλη απόσταση χωρίς κανένα πρόσθετο σπρώξιμο από εμάς. Ο Γαλιλαίος ισχυρίστηκε ότι ένα τέλει λείο αντικείμενο πάνω σε μια επίσης τέλεια λεία οριζόντια επιφάνεια θα μπορούσε να κινείται επ' άπειρο σε ευθεία γραμμή.

Τι σημαίνει όμως στον ισχυρισμό του Γαλιλαίου ότι τα σώματα και οι επιφάνειες πρέπει να είναι εντελώς λεία;

Σε κάθε σώμα που κινείται πάνω σε μια επιφάνεια ασκείται πάντοτε η δύναμη της τριβής, που αντιστέκεται στην κίνησή του. Αν υποθέσουμε ότι το σώμα και η επιφάνεια είναι εντελώς λεία, τότε δεν υπάρχει δύναμη τριβής που θα μπορούσε να ελαττώσει τη ταχύτητα του σώματος.

Ο Νεύτωνας ανέπτυξε πιο ολοκληρωμένα την ιδέα του Γαλιλαίου: Ας φαντασθούμε ένα σώμα στο οποίο δεν ασκείται καμία δύναμη. Αν το σώμα έχει αρχική ταχύτητα, θα κινηθεί σε ευθεία γραμμή χωρίς να αλλάξει η ταχύτητά του. Εάν είναι αρχικά ακίνητο θα παραμείνει ακίνητο. Έτσι προκύπτει ο πρώτος νόμος του Νεύτωνα που διατυπώνεται ως εξής:

Κάθε σώμα παραμένει ακίνητο ή εκτελεί ευθύγραμμη ομαλή κίνηση εφόσον δεν ασκείται καμία δύναμη πάνω του.

Ο πρώτος νόμος του Νεύτωνα αναφέρεται σε μια ιδιότητα των σωμάτων που ονομάζεται **αδράνεια**.

Αδράνεια είναι η τάση των σωμάτων να αντιστέκονται σε οποιαδήποτε μεταβολή της κινητικής τους κατάστασης (ταχύτητας).

Ας επανέλθουμε στο παράδειγμα με το αυτοκινητάκι που τραβούν οι μαθητές με σκοινιά (παράγραφος 2.2). Εάν το αυτοκινητάκι είναι αρχικά ακίνητο δεν θα αρχίσει να κι-

νείται εάν η συνολική δύναμη που ασκείται πάνω του είναι μηδέν. Με βάση αυτή την παρατήρηση μπορούμε να διατυπώσουμε τον πρώτο νόμο πιο ολοκληρωμένα:

Ένα σώμα συνεχίζει να παραμένει ακίνητο ή να κινείται ευθύγραμμα και ομαλά εφόσον η συνολική (συνισταμένη) δύναμη που ασκείται πάνω του είναι μηδενική.

2.4 Δεύτερος νόμος του Νεύτωνα για τη κίνηση

Σύμφωνα με τον πρώτο νόμο του Νεύτωνα, κάθε σώμα διατηρεί την κατάσταση ηρεμίας του ή συνεχίζει να κινείται ευθύγραμμα και ομαλά, μέχρις ότου δράσουν πάνω του μια ή περισσότερες δυνάμεις, που θα προκαλέσουν μεταβολή της ταχύτητάς του. Με άλλα λόγια ένα σώμα επιταχύνεται όταν ασκείται πάνω του μια ή περισσότερες δυνάμεις με συνισταμένη διάφορη του μηδενός.

Πόση είναι η επιτάχυνση σε αυτή τη περίπτωση;

Ας σκεφθούμε τι συμβαίνει με την αλλαγή της κινητικής κατάστασης της μπάλας σε κτύπημα πέναλτυ σ' ένα ποδοσφαιρικό αγώνα. Η επιδίωξη του ποδοσφαιριστή είναι η αρχικά ακίνητη μπάλα φεύγοντας από το πόδι του, να κινηθεί προς το αντίπαλο τέρμα με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ταχύτητα. Η μπάλα επιταχύνεται καθώς χτυπιέται από το πόδι του ποδοσφαιριστή. Το πόδι του ποδοσφαιριστή ασκεί δύναμη στη μπάλα. Ποιος επομένως θα εκτελέσει το πέναλτυ; Αυτός που έχει, όπως λέμε, το πιο δυνατό σουτ, δηλαδή αυτός που το πόδι του ασκεί τη μεγαλύτερη δύναμη στη μπάλα.

Όσο μεγαλύτερη είναι η δύναμη, που ασκείται σε ένα σώμα, τόσο μεγαλύτερη επιτάχυνση αποκτά το σώμα. Πειραματιζόμενοι με ένα σώμα στο οποίο ασκούμε διαδοχικά δύναμη F και $2F$, διαπιστώνουμε ότι η επιτάχυνση που αποκτά είναι a και $2a$ αντίστοιχα. Έτσι καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι **η επιτάχυνση είναι ανάλογη με τη δύναμη**. Αν διπλασιασθεί η δύναμη διπλασιάζεται και η επιτάχυνση κ.ο.κ.

Η επιτάχυνση εξαρτάται επίσης από τη μάζα του σώματος. Αν αντικαταστήσουμε μια μπάλα του ποδοσφαίρου με μια μπάλα του μπάσκετ, ο ίδιος ποδοσφαιριστής ασκώντας την ίδια δύναμη προσδίνει στη μπάλα μικρότερη επιτάχυνση.

Πως εξηγείται αυτό;



Εικόνα 2.21

Όσο μεγαλύτερη είναι η δύναμη που ασκεί ο μαθητής στη μπάλα τόσο μεγαλύτερη η επιτάχυνσή της



Εικόνα 2.22

Στο ίδιο σώμα, διπλάσια δύναμη προκαλεί διπλάσια επιτάχυνση



Εικόνα 2.23

Στους αγώνες αυτοκινήτων, καθώς εξαντλούνται τα καύσιμα, η μάζα του αυτοκινήτου μειώνεται και μπορεί να αναπτύσσει μεγαλύτερη επιτάχυνση.

Η μπάλα του μπάσκετ έχει μεγαλύτερη μάζα. Όσο μεγαλύτερη είναι η μάζα τόσο μικρότερη είναι η επιτάχυνση. Για την ίδια δύναμη, σώμα διπλάσιας μάζας αποκτά τη μισή επιτάχυνση, σώμα τριπλάσιας μάζας αποκτά το $\frac{1}{3}$ της επιτάχυνσης. Βλέπουμε λοιπόν ότι όσο μεγαλύτερη είναι η μάζα ενός σώματος τόσο δυσκολότερα μπορεί να μεταβληθεί η ταχύτητά του.

Συνδυάζοντας το δεύτερο νόμο με την έννοια της αδράνειας μπορούμε να ισχυρισθούμε ότι *η μάζα ενός σώματος είναι το μέτρο της αδράνειας του, δηλαδή της αντίστασης που παρουσιάζει το σώμα στη μεταβολή της κινητικής του κατάστασης*. Μεγάλη μάζα σημαίνει μεγάλη αδράνεια δηλαδή μεγάλη αντίσταση και άρα μικρή επιτάχυνση (για δεδομένη δύναμη). Η μηχανή ενός φορτηγού προσδίδει σε αυτό πολύ μικρότερη επιτάχυνση όταν είναι φορτωμένο απ' ότι όταν είναι άδειο. Το φορτωμένο φορτηγό επιταχύνεται λιγότερο από το άδειο αλλά και σταματάει δυσκολότερα από αυτό.

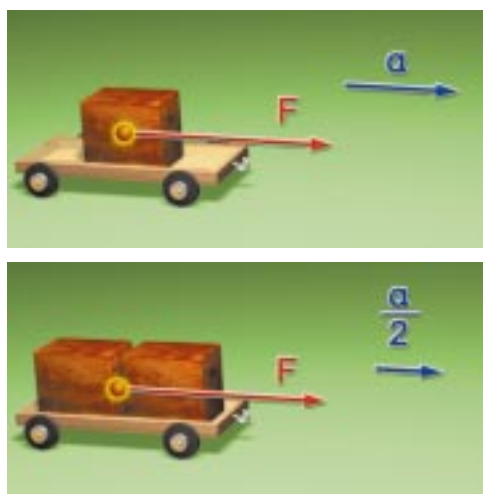
Πειραματιζόμαστε με δύο σώματα που η μάζα του ενός είναι διπλάσια από του άλλου. Ασκούμε στα δύο σώματα την ίδια δύναμη F . Διαπιστώνουμε ότι το σώμα διπλάσιας μάζας ($2m$) αποκτά τη μισή επιτάχυνση από το σώμα μάζας m . Έτσι καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι **η επιτάχυνση είναι αντιστρόφως ανάλογη με τη μάζα**.

Συνδυάζοντας την εξάρτηση της επιτάχυνσης από τη δύναμη και τη μάζα καταλήγουμε στη διατύπωση του δεύτερου νόμου του Νεύτωνα. **Η επιτάχυνση ενός σώματος είναι ανάλογη της ολικής δύναμης που ασκείται πάνω του και αντιστρόφως ανάλογη της μάζας του σώματος**.

$$a = \frac{F}{m} \quad \text{ή} \quad \text{ισοδύναμα}$$

$$F = m \cdot a$$

Αν σ' ένα σώμα ασκηθούν δυνάμεις με συνισταμένη διάφορη του μηδενός, τότε το σώμα θα αποκτήσει επιτάχυνση. Σύμφωνα με το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα η επιτάχυνση έχει την κατεύθυνση της συνισταμένης δύναμης. Αν η συνισταμένη δύναμη ασκείται κατά τη κατεύθυνση που κινείται το σώμα θα αυξήσει την ταχύτητά του. Αν ασκείται κατά την αντίθετη κατεύθυνση θα την ελαττώσει.



Εικόνα 2.24

Η ίδια δύναμη προκαλεί τη μισή επιτάχυνση στο σώμα διπλάσιας μάζας.



Δένουμε μια πέτρα στο άκρο ενός νήματος και τη περιφέρουμε γύρω από το χέρι μας. Η πέτρα διαγράφει έναν κατακόρυφο κύκλο. Η ταχύτητα της είναι διαρκώς εφαπτόμενη στο κύκλο. Το νήμα ασκεί στην πέτρα δύναμη κατά τη διεύθυνση της ακτίνας του κύκλου. Η δύναμη αυτή αλλάζει τη κατεύθυνση της ταχύτητας και αναγκάζει τη σφαίρα να κινηθεί κυκλικά. Αν το νήμα σπάσει, τότε δεν ασκείται πια η δύναμη του νήματος, και σύμφωνα με τον πρώτο νόμο του Νεύτωνα η σφαίρα κινείται στη διεύθυνση της εφαπτομένης της κυκλικής τροχιάς της. Την ιδιότητα αυτή την εκμεταλλεύονται οι αθλητές των ρίψεων και οι άλτες του μήκους.



Σχήμα 2.25



Μάζα και αδράνεια

- Κρέμασε δυο κουτάκια αναψυκτικών με δυο νήματα ίσου μήκους, ένα γεμάτο και ένα άδειο.
- Άφησε τα να ισορροπήσουν.
- Σκέψου με ποιο τρόπο μπορείς να διακρίνουν το άδειο από το γεμάτο κουτί, χωρίς να το ακουμπήσεις.



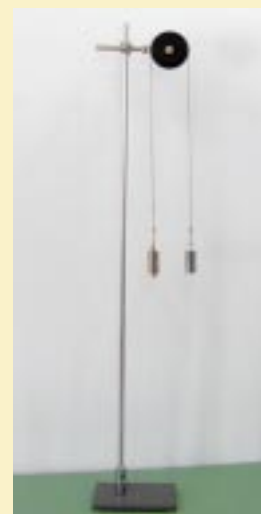
Μονάδα δύναμης

Ο δεύτερος νόμος του Νεύτωνα μας δίνει τη δυνατότητα να ορίσουμε τη μονάδα της δύναμης. Ως 1N (1 Νιούτον) ορίζεται η δύναμη η οποία προκαλεί σε ένα σώμα μάζας 1kg επιτάχυνση $1 = \frac{m}{s^2}$ δηλαδή $1N = 1kg \cdot 1\frac{m}{s^2}$.



Ηρεμία και κίνηση

- Στερέωσε μια τροχαλία σε ακλόνητο υποστήριγμα.
- Πάρε ένα νήμα μήκους 1.5m και δέσε στα άκρα του δυο μεταλλικούς κυλίνδρους μάζας 100gr ο καθένας.
- Πέρασε το νήμα από το αυλάκι της τροχαλίας. Εάν οι μάζες δεν είναι ακριβώς ίσες μπορείς να τις εξισώσεις κρεμώντας συνδετήρες στη μια ή στην άλλη.
- Ακίνητοποιήσε το νήμα και αφήστε το σύστημα ελεύθερο.
- Τι παρατηρείς;
- Πόση είναι η συνολική δύναμη, που ασκείται σε κάθε κύλινδρο;
- Στη συνέχεια, σπρώξε ελαφρά τον ένα κύλινδρο, ώστε να αποκτήσει μια μικρή ταχύτητα.
- Τι είδους κίνηση εκτελεί ο κάθε κύλινδρος;



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Ένα αγωνιστικό αυτοκίνητο έχει μάζα 800kg. Πόση συνολική δύναμη απαιτείται για να επιταχυνθεί με $4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Δεδομένα

$$a = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$m = 1500\text{kg}$$

Βασική εξίσωση

Ο δεύτερος νόμος του Νεύτωνα δίνει τη σχέση μεταξύ δύναμης που ασκείται σ' ένα σώμα και της επιτάχυνσης που αυτό αποκτά: $F = m \cdot a$

Ζητούμενα

Δύναμη F

Λύση

$$F = m \cdot a$$

με αντικατάσταση λαμβάνουμε

$$F = 800\text{kg} \cdot 4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2},$$

$$F = 3200\text{N}$$



Εικόνα 2.26

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

Η μέγιστη ολική δύναμη που μπορούν να ασκήσουν οι μηχανές του Μπόινγκ 747 της διπλανής φωτογραφίας είναι $9 \cdot 10^5\text{N}$. Η μάζα του αεροσκάφους είναι $3 \cdot 10^5\text{kg}$.

A. Ποια είναι η μέγιστη δυνατή επιτάχυνση του αεροπλάνου κατά τη διάρκεια της κίνησης του για απογείωση;

B. Αν το αεροπλάνο ξεκινά από την ηρεμία τι ταχύτητα θα έχει αποκτήσει μετά από 10s;

Αγνόησε τις δυνάμεις που ασκούνται στο αεροπλάνο από το έδαφος και τον αέρα.

Δεδομένα

$$F = 9 \cdot 10^5\text{N}$$

$$m = 3 \cdot 10^5\text{kg}$$

$$t = 10\text{s}$$

Ζητούμενα

a, υ

Βασικές εξισώσεις

Ο δεύτερος νόμος του Νεύτωνα δίνει τη σχέση μεταξύ δύναμης που ασκείται σ' ένα σώμα και της επιτάχυνσης που αυτό αποκτά.

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

Νόμος της ταχύτητας για την ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση:

$$v = a \cdot t$$

Λύση

$$A. a = \frac{F}{m} \text{ με αντικα-}$$

τάσταση λαμβάνουμε

$$a = \frac{9 \cdot 10^5\text{N}}{3 \cdot 10^5\text{kg}}$$

$$a = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

B. Το αεροπλάνο αφού αποκτά σταθερή επιτάχυνση θα εκτελεί ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση χωρίς αρχική ταχύτητα.

Επομένως

$$v = a \cdot t \text{ με αντικατάσταση λαμβάνουμε}$$

$$v = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 10\text{s}$$

$$v = 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



Εικόνα 2.27

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Συμπλήρωσε το παρακάτω κείμενο:

Η τάση των σωμάτων να αντιστέκονται σε οποιαδήποτε μεταβολή της κινητικής τους κατάστασης λέγεται Ένα σώμα συνεχίζει να παραμένει ή να κινείται ευθύγραμμα και εφόσον η συνολική δύναμη που ασκείται επάνω του είναι μηδενική. Η μάζα είναι το μέτρο της ενός σώματος.

2. Ποιες από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστές;

Όταν σ' ένα σώμα ασκείται μια συνολική δύναμη τότε η επιτάχυνση:

- α) Είναι ανάλογη με τη συνολική δύναμη
- β) είναι αντιστρόφως ανάλογη με τη συνολική δύναμη
- γ) είναι ανεξάρτητη από τη μάζα του σώματος
- δ) έχει την κατεύθυνση της δύναμης .


3. Ποια από τις παρακάτω μονάδες είναι μονάδα δύναμης;

- α) kg, β) N, γ) $\frac{N}{kg}$, δ) $N \cdot kg$

4. Εξήγησε τα παρακάτω φαινόμενα εφαρμόζοντας τον πρώτο νόμο του Νεύτωνα

- α) Όταν ένα αεροπλάνο απογειώνεται τα σώματα των επιβατών «πέφτουν προς τα πίσω»,
- β) Όταν ο οδηγός ενός λεωφορείου φρενάρει απότομα ένας όρθιος επιβάτης «πέφτει μπροστά»
- γ) Τινάζοντας τα βρεγμένα χέρια μας απομακρύνουμε τις σταγόνες από αυτά.

5.  Τι εννοούμε λέγοντας ότι η ισορροπία είναι ισοδύναμη με τη κίνηση με σταθερή ταχύτητα;

6.  Δένουμε μια μικρή μεταλλική σφαίρα με ένα λεπτό νήμα και την περιστρέφουμε σε οριζόντιο επίπεδο.

- α) Τι κίνηση θα κάνει η σφαίρα αν κοπεί το νήμα;
- β) Τι είδους κίνηση θα έκαναν οι πλανήτες αν ξαφνικά καμία δύναμη δεν ασκούσαν επάνω τους;

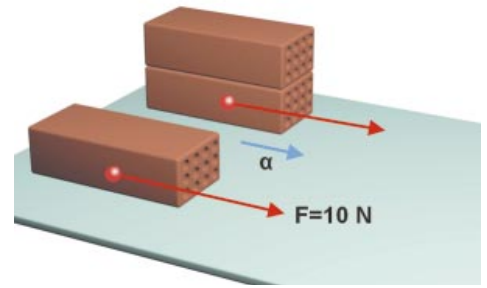
7. Ένα αυτοκίνητο μάζας 1000kg κινείται με σταθερή ταχύτητα $50 \frac{km}{h}$. Ποιο είναι το μέτρο της συνισταμένης δύναμης που ασκείται σ' αυτό;

8. Σ' ένα σώμα που είναι αρχικά ακίνητο ασκείται μια σταθερή συνισταμένη δύναμη F. Τί είδους κίνηση θα εκτελέσει το σώμα και πως το εξηγείς;

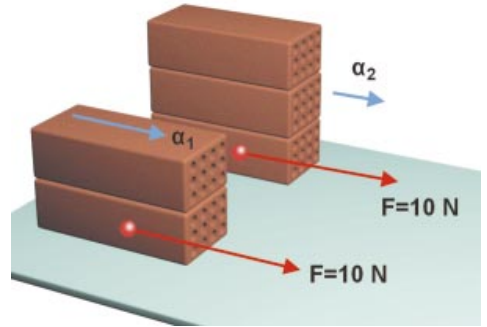
9. Σ' ένα σώμα Α ασκούνται δυο δυνάμεις με αντίθετη φορά Το σώμα έχει μάζα 2kg και κινείται προς τα δεξιά με σταθερή ταχύτητα $1 \frac{m}{s}$. Αν η δύναμη F_1 έχει μέτρο 20N πόσο πρέπει να είναι το μέτρο της F_2 ; Να δικαιολογήσεις την απάντησή σου.



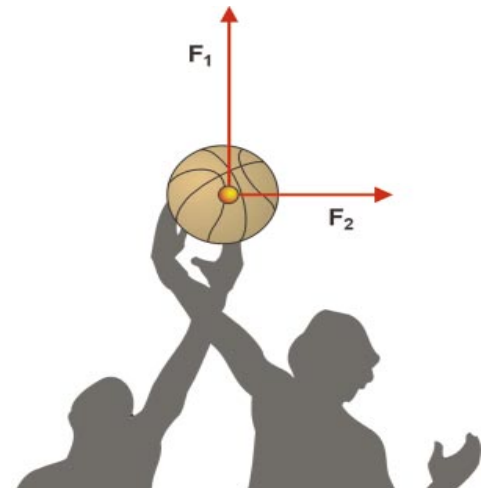
10. Ένα τούβλο κινείται σε οριζόντιο τραπέζι με επιτάχυνση $1,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, όταν ασκείται πάνω του δύναμη 10N. Τοποθετούμε πάνω στο πρώτο ένα δεύτερο όμοιο τούβλο. Πόση συνισταμένη δύναμη πρέπει να ασκηθεί για να κινηθούν και τα δυο τούβλα με την ίδια επιτάχυνση $1,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$;



11. Με πόση επιτάχυνση θα κινηθούν τα δυο τούβλα, που περιγράφονται στην προηγούμενη ερώτηση, αν ασκηθεί σ' αυτά δύναμη των 10N; Αν τα τούβλα γίνουν τρία και ασκηθεί σ' αυτά δύναμη 10N με πόση επιτάχυνση θα κινηθούν τώρα;



12. Σε μια μπάλα του μπάσκετ ασκούνται συγχρόνως δυο δυνάμεις F_1 και F_2 , όπως δείχνεται στο διπλανό σχήμα. Να σχεδιάσεις το διάνυσμα της επιτάχυνσης που αποκτά η μπάλα του μπάσκετ.



13. Αν γνωρίζεις ότι η επιτάχυνση ενός σώματος είναι μηδέν, αυτό σημαίνει ότι δεν ασκούνται καθόλου δυνάμεις στο σώμα; Να περιγράψεις ένα παράδειγμα με το οποίο να υποστηρίξεις την άποψή σου.
14. Ένα βιβλίο Φυσικής είναι ακίνητο πάνω στο τραπέζι. Αν του δώσεις μια δυνατή ώθηση με το χέρι σου γλιστράει πάνω στο τραπέζι και σταματάει. Χρησιμοποίησε τους νόμους του Νεύτωνα για να απαντήσεις στις παρακάτω ερωτήσεις:
- α) πως εξηγείς ότι το βιβλίο παραμένει ακίνητο πριν ασκηθεί δύναμη;
 - β) Γιατί το βιβλίο κινείται όταν το σπρώχνεις με το χέρι σου;
 - γ) Πως εξηγείς ότι το βιβλίο τελικά σταματάει, όταν πάψεις να το σπρώχνεις;
 - δ) Κάτω από ποιες συνθήκες το βιβλίο θα κινηθεί με σταθερή ταχύτητα;

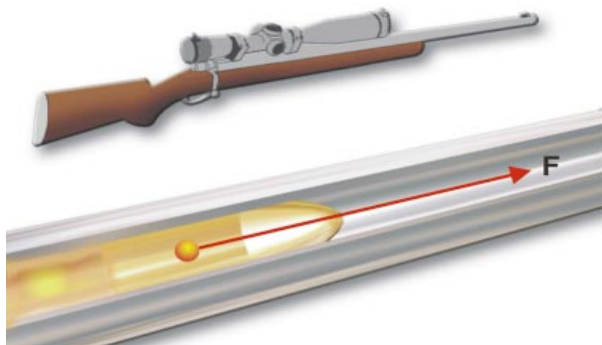
Α Σ Κ Η Σ Ε Ι Σ


1. Ένα κουτί μάζας 2kg βρίσκεται σε οριζόντιο δάπεδο χωρίς τριβές και του ασκείται μια σταθερή οριζόντια δύναμη F με μέτρο 10N . Ποια από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστή:

Το κουτί θα κινηθεί με

- α) σταθερή ταχύτητα $5 \frac{m}{s}$ β) με σταθερή ταχύτητα $20 \frac{m}{s}$
 γ) με σταθερή επιτάχυνση $5 \frac{m}{s^2}$ δ) με σταθερή επιτάχυνση $20 \frac{m}{s^2}$
 ε) το κουτί θα μείνει ακίνητο λόγω αδράνειας.

2. Ένα όπλο ασκεί στη σφαίρα μια συνισταμένη δύναμη 2N, οπότε η επιτάχυνση που αποκτά η σφαίρα καθώς κινείται στο εσωτερικό της κάνης του όπλου, είναι $20 \frac{m}{s^2}$. Πόση είναι η μάζα της σφαίρας;



3.  Ένα τζάμπο 737 έχει μάζα 30.000kg. Η δύναμη που ασκείται από τον καθένα από τους 4 κινητήρες του έχει μέτρο 30.000N.



- α) Πόσο είναι η συνισταμένη δύναμη ασκείται από τους κινητήρες στο αεροπλάνο;;
 β) Πόση είναι η επιτάχυνση του αεροσκάφους κατά την απογείωσή του
 γ) Πόση είναι η ταχύτητά του τη χρονική στιγμή $t = 10s$ μετά το ξεκίνημά του;
 Αγνόησε την τριβή και την αντίσταση του αέρα.



4. Ο αναβάτης και η μοτοσικλέτα του έχουν συνολική μάζα 300kg. Η μοτοσικλέτα επιβραδύνεται με επιβράδυνση μέτρου $a = 20 \frac{m}{s^2}$. Ποιο είναι το μέ-

τρο της συνισταμένης δύναμης που ασκείται στη μοτοσικλέτα; Καθόρισε την κατεύθυνση αυτής της δύναμης. Αν η μοτοσικλέτα κινείται προς τη θετική φορά της ευθύγραμμης τροχιάς της, προσδιόρισε την επιβράδυνσή της και τη συνισταμένη δύναμη με τους κατάλληλους αλγεβρικούς αριθμούς.



5. Αυτοκίνητο μαζί με τον οδηγό του έχουν συνολική μάζα 900kg. Το αυτοκίνητο ξεκινώντας από την ηρεμία, αποκτά ταχύτητα $25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ σε χρονικό διάστημα 0,5s.
- α) Να βρεις τη μέση επιτάχυνση για το παραπάνω χρονικό διάστημα.
- β) Πόσο είναι το μέτρο της μέσης δύναμης που ασκείται στο αυτοκίνητο σ' αυτό το χρονικό διάστημα;
- γ) Αν ο οδηγός έχει μάζα 70kg ποιο είναι το μέτρο της οριζόντιας δύναμης που ασκείται από το κάθισμα σ' αυτόν;
6.  Αγωνιστικό αυτοκίνητο έχει μάζα 700kg. Ξεκινά από την ηρεμία και η μετατόπιση του από την αρχική θέση σε χρονικό διάστημα 3s είναι 36m. Αν το αυτοκίνητο κινείται με σταθερή επιτάχυνση πόση είναι η συνισταμένη δύναμη σ' αυτό;
7. Αυτοκίνητο μάζας 1500kg βρίσκεται στην πίστα δοκιμών και κινείται ευθύγραμμα με ταχύτητα μέτρου $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Ξαφνικά ο οδηγός του αυξάνει το μέτρο της ταχύτητας του αυτοκινήτου σε $30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, σε χρονικό διάστημα 10s. Πόση είναι η συνισταμένη δύναμη που ασκείται στο αυτοκίνητο στο παραπάνω χρονικό διάστημα;
8. Σε μπάλα μάζας 2kg ασκούνται δυο δυνάμεις $F_1 = 6\text{N}$ και $F_2 = 8\text{N}$ με διευθύνσεις κάθετες μεταξύ τους. Κάνοντας ένα σχήμα να προσδιορίσεις την επιτάχυνση της μπάλας κατά διεύθυνση, φορά και μέτρο.
9.  Όταν ένας αθλητής του καράτε χτυπάει τούβλο, στο χέρι του ασκείται δύναμη από το τούβλο που προκαλεί το σταμάτημα του. Αν το χέρι από την επίδραση αυτής της δύναμης αποκτά επιτάχυνση (επιβράδυνση) μέτρου $6500 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ και αν γνωρίζουμε από ιατρικά δεδομένα ότι η μάζα του κινούμενου χεριού είναι περίπου 0,7kg πόσο είναι το μέτρο της δύναμης που ασκείται στο χέρι του από το τούβλο; Ποια είναι η κατεύθυνση της δύναμης;

2.5 Βάρος και βαρυτική δύναμη

Επιστρέφοντας στο σπίτι από το σχολείο βλέπεις ένα κουτί στο δρόμο και του δίνεις μια δυνατή κλωτσιά. Εάν το κουτί πάει μακριά καταλαβαίνεις ότι έχει μικρή μάζα. Εάν το κουτί μετακινηθεί λίγο, έχει μεγάλη μάζα.

Σηκώνεις το κουτί και το αφήνεις ελεύθερο. Τότε θα κινηθεί κατακόρυφα προς το έδαφος με επιτάχυνση g , εκτελώντας ελεύθερη πτώση.

Σύμφωνα με το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα, αφού το κουτί επιταχύνεται, θα πρέπει να ασκείται σ' αυτό μια δύναμη F με κατεύθυνση προς το έδαφος για την οποία ισχύει:

$$F = m \cdot g$$

όπου m η μάζα του κουτιού.

Ποια είναι η προέλευση αυτής της δύναμης;

Ο Νεύτωνας όταν, σύμφωνα με την παράδοση, είδε ένα μήλο να πέφτει, σκέφτηκε ότι αυτή η δύναμη ασκείται από τη Γη στο σώμα και την ονόμασε (γήινο) βάρος του σώματος. Το βάρος το μετράμε σε N , όπως όλες τις άλλες δυνάμεις. Ένα μέσου μεγέθους μήλο έχει βάρος περίπου $2N$.

Η Γη ασκεί βαρυτική δύναμη σ' οποιοδήποτε σώμα ανεξάρτητα αν το σώμα βρίσκεται στο έδαφος, πέφτει ή ανυψώνεται. Η Γη πάντοτε έλκει τα σώματα προς το κέντρο της. Οι βαρυτικές δυνάμεις είναι ελκτικές.

Αλλά μέχρι πού επεκτείνεται η βαρυτική δύναμη της Γης;

Ο Νεύτωνας είχε την έμπνευση να δεχθεί ότι η βαρυτική δύναμη που προκαλεί την πτώση ενός μήλου, φθάνει και ως τη Σελήνη και προκαλεί τη (σχεδόν) κυκλική κίνηση της γύρω από τη Γη. Έτσι κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι βαρυτικές δυνάμεις ασκούνται σε όλο το Σύμπαν και διατύπωσε το **νόμο της παγκόσμιας έλξης**:

Κάθε σώμα έλκει κάθε άλλο σώμα με δύναμη που είναι ανάλογη των μαζών τους και αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της μεταξύ τους απόστασης (εφόσον τα σώματα μπορούν να θεωρηθούν ως υλικά σημεία).

Συμβολικά:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

όπου m_1 , m_2 , οι μάζες των δυο σωμάτων d η μεταξύ τους απόσταση και G μια σταθερά που η τιμή της είναι τέτοια ώστε η δύναμη να προκύπτει σε N , όταν οι μάζες μετρώνται σε kg και οι αποστάσεις σε m . Η τιμή της σταθεράς G είναι η ίδια για οποιοδήποτε ζεύγος σωμάτων, οπουδήποτε



Εικόνα 2.28

Το κουτί επιταχύνεται, επομένως σε αυτό ασκείται δύναμη.



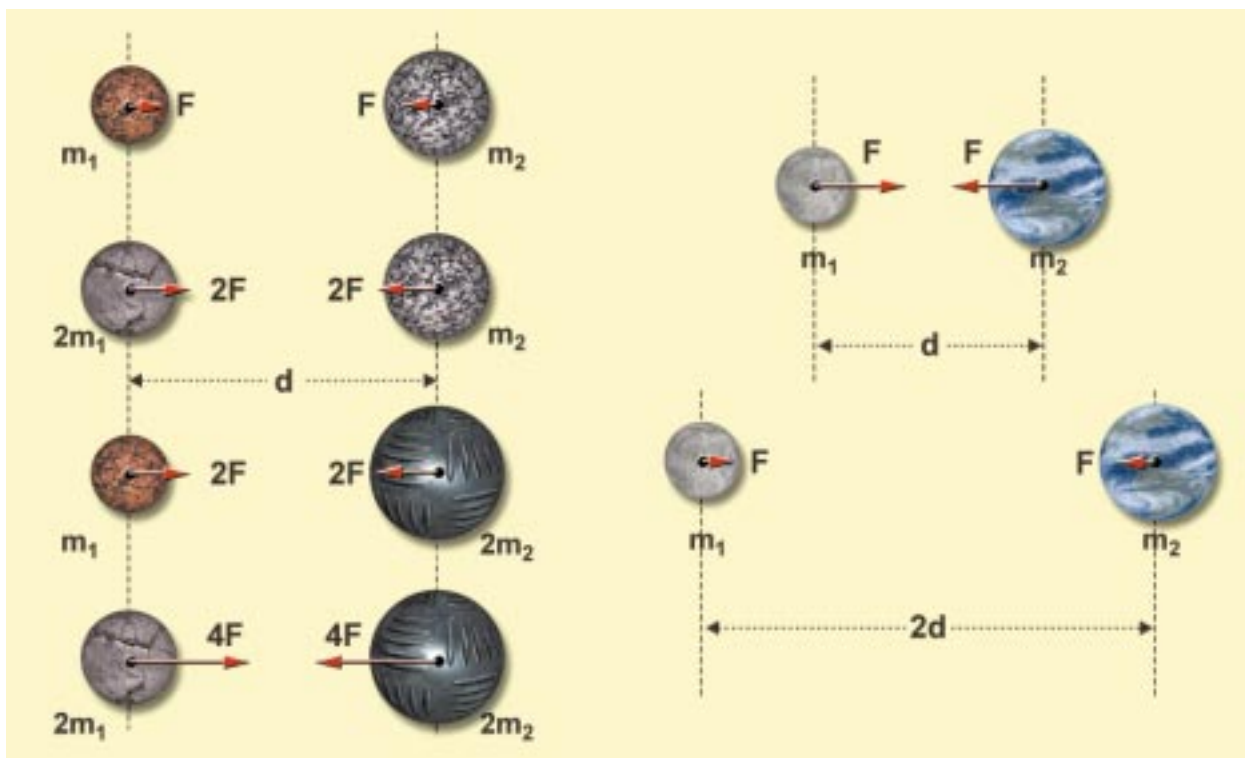
Εικόνα 2.29

Η Σελήνη επιταχύνεται, το κουτί όταν πέφτει επιταχύνεται. Και στις δύο περιπτώσεις η επιτάχυνση προκαλείται από την βαρυτική δύναμη.



Εικόνα 2.30

Οι κινήσεις των αστέρων σε ένα γαλαξία καθορίζονται από τις βαρυτικές δυνάμεις.



Εικόνα 2.31

Όταν διπλασιασθεί η μια από τις δυο μάζες η βαρυτική δύναμη διπλασιάζεται.
Όταν διπλασιασθεί η απόσταση η βαρυτική δύναμη μειώνεται στο 1/4



Εικόνα 2.32

Η κατακόρυφη κάθε τόπου έχει τη διεύθυνση της ακτίνας της Γης και διέρχεται από το κέντρο της ...

και αν βρίσκονται και ονομάζεται **σταθερά της παγκόσμιας έλξης**.

Οι βαρυτικές δυνάμεις είναι πάντοτε ελκτικές. Αυτή είναι μια ουσιαστική διαφορά τους σε σχέση με τις ηλεκτρικές και μαγνητικές δυνάμεις, που είναι άλλοτε ελκτικές και άλλοτε απωστικές.

Η Γη, σύμφωνα με το νόμο της παγκόσμιας έλξης, ασκεί βαρυτικές δυνάμεις σε όλα τα σώματα. **Δημιουργεί στο χώρο που την περιβάλλει ένα πεδίο βαρύτητας**. Σύμφωνα με το νόμο της παγκόσμιας έλξης το γήινο βάρος ενός σώματος δίνεται από τη σχέση (εικόνα 2.31):

$$w = G \cdot \frac{M_T \cdot m}{d_T^2},$$

M_T η μάζα της Γης,

m η μάζα του σώματος και

d_T η απόστασή του από το κέντρο της Γης.

Σε κάθε τόπο το βάρος έχει τη διεύθυνση της ακτίνας της Γης και φορά προς το κέντρο της. Η διεύθυνση της ακτίνας της Γης ονομάζεται κατακόρυφος του τόπου. Αισθητοποιείται με το νήμα της στάθμης. Θεωρώντας κάθε μικρή περιοχή της επιφάνειας της Γης επίπεδη, το διάνυσμα του βάρους έχει διεύθυνση κάθετη σε αυτή και φορά προς τα κάτω.

Είδαμε ότι το βάρος ενός σώματος εξαρτάται από την απόστασή του από το κέντρο της Γης.

Σύμφωνα με το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα ισχύει:

$$w = m \cdot g \quad \text{ή} \quad g = \frac{w}{m},$$

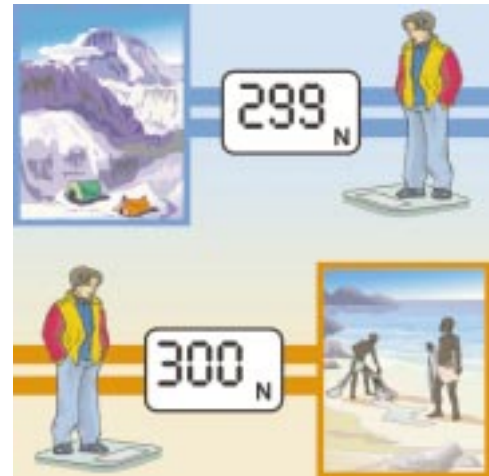
Άρα η επιτάχυνση της ελεύθερης πτώσης g έχει τη κατεύθυνση του βάρους και μεταβάλλεται όπως το βάρος, σε σχέση με την απόσταση από το κέντρο της Γης.

Το βάρος και το g ελαττώνονται όσο αυξάνεται το ύψος από την επιφάνεια του εδάφους. Ένα παιδί που έχει βάρος 300N στην επιφάνεια της θάλασσας θα έχει βάρος 299N στην κορυφή του Έβερεστ. Ένας αστροναύτης που βρίσκεται σε ύψος ίσο με την ακτίνα της Γης, έχει βάρος ίσο με το $\frac{1}{4}$ του βάρους του στην επιφάνεια της Γης.

Η Γη δεν είναι τέλεια σφαίρα. Η ακτίνα της στον ισημερινό είναι λίγο μεγαλύτερη απ' ό,τι στους πόλους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το βάρος των σωμάτων και η τιμή του g να αυξάνεται από τον Ισημερινό προς τους πόλους. Πράγματι η τιμή του g αυξάνεται από $9,78 \frac{m}{s^2}$ στον ισημερινό σε $9,83 \frac{m}{s^2}$ στους πόλους.

Αν ένα σώμα μεταφερθεί στην επιφάνεια της Σελήνης θα έχει βάρος;

Λόγω της μεγάλης απόστασης από τη Γη η γήινη βαρυτική δύναμη είναι πάρα πολύ μικρή συγκριτικά με τη σεληνιακή. Έτσι, το σώμα έχει μόνο «σεληνιακό» βάρος, που είναι περίπου ίσο με το $\frac{1}{6}$ του γήινου βάρους του, που έχει όταν βρίσκεται στην επιφάνεια της Γης. Η διαφορά αυτή οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι η Σελήνη έχει μικρότερη μάζα από τη Γη.



Εικόνα 2.33

Η βαρυτική δύναμη που ασκεί η Γη μειώνεται καθώς απομακρυνόμαστε από το κέντρο της.



Επιμήκυνση ελατηρίου

- Κρέμασε ένα ελατήριο από σταθερό υποστήριγμα.
- Από το άλλο άκρο του ελατηρίου κρέμασε διαδοχικά κυλίνδρους διαφόρων μαζών.
- Κάθε φορά μέτρησε την αύξηση του μήκους του ελατηρίου.
- Κάνε το διάγραμμα του βάρους των κυλίνδρων σε σχέση με την επιμήκυνση του ελατηρίου.
Τι μορφή έχει το διάγραμμα;
Να διατυπώσεις το συμπέρασμα σου.





Εικόνα 2.34

Ο αστροναύτης J. S. Voss σπρώχνει εξάρτημα του γερανού για να το τοποθετήσει στο διαστημικό σταθμό. Για να το επιταχύνει, ασκεί δύναμη που σχετίζεται με την αδράνεια (μάζα) του εξαρτήματος και όχι με το βάρος του.



Εικόνα 2.35

Μετράμε τη μάζα ενός σώματος συγκρίνοντας το βάρος του με το βάρος ενός άλλου σώματος γνωστής μάζας.



Εικόνα 2.36

Η μάζα του Auldrin δεν άλλαξε στη Σελήνη. Το βάρος του όμως έγινε το 1/6 του βάρους που είχε στη Γη.

Μάζα και Βάρος

Οι έννοιες της μάζας και του βάρους συχνά συγχέονται. Σε αυτό συντελούν ο συνήθης τρόπος μέτρησης της μάζας ενός σώματος μέσω του γήινου βάρους του και η αδιάκριτη χρήση της μονάδας κιλό για μάζα και βάρος. Ακόμα και όταν χρησιμοποιούμε ζυγό ισορροπίας προσδιορίζουμε τη μάζα ενός σώματος εξισώνοντας το βάρος του με το βάρος γνωστής μάζας.

Ας προσπαθήσουμε να διακρίνουμε με σαφήνεια τις δυο έννοιες εντοπίζοντας τις βασικές διαφορές τους. **Η μάζα** είναι το **μέτρο της αδράνειας** ενός σώματος ενώ **το βάρος** η συνολική **βαρυτική δύναμη** που ασκείται πάνω του.

Η μάζα είναι μονόμετρο μέγεθος ενώ το βάρος διανυσματικό.

Μονάδα μάζας είναι το 1Kg ενώ του βάρους είναι το 1N.

Όργανο μέτρησης μάζας είναι ο ζυγός ισορροπίας ενώ του βάρους το δυναμόμετρο. Παρατήρησε ότι οι «ζυγαριές» που έχουμε στα σπίτια μας ή βλέπουμε στα περισσότερα καταστήματα δεν είναι ζυγοί αλλά δυναμόμετρα.

Ποιος είναι ο λόγος που έχουμε δικαίωμα να μετράμε τη μάζα ενός σώματος μέσω του βάρους του;

Γνωρίζουμε ότι στον ίδιο τόπο όλα τα σώματα όταν πέφτουν ελεύθερα, έχουν την ίδια επιτάχυνση g . Έτσι αν δυο σώματα έχουν μάζες m_1 και m_2 και βάρη w_1 και w_2 , αντίστοιχα, σύμφωνα με το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα θα ισχύει: $w_1 = m_1 \cdot g$ και $w_2 = m_2 \cdot g$. Παρατηρούμε ότι αν τα δυο σώματα έχουν ίσα βάρη δηλαδή:

$$w_1 = w_2$$

τότε θα έχουν και ίσες μάζες:

$$m_1 \cdot g = m_2 \cdot g \quad \text{ή} \quad m_1 = m_2$$

Έτσι στον ίδιο τόπο αν δυο σώματα έχουν ίδιο βάρος θα έχουν και ίδια μάζα.

Η μάζα ενός σώματος είναι η ίδια σ' όλο το Σύμπαν. Το βάρος του όμως, αλλάζει από τόπο σε τόπο. Μια μπάλα του μπάσκετ με μάζα 0,75kg έχει βάρος 7,5N στη Γη αλλά μόνο 1,25N στη Σελήνη, όπου η επιτάχυνση της βαρύτητας είναι $1,6 \frac{m}{s^2}$.

Κλωτσώντας όμως τη μπάλα πάνω στην επιφάνεια της Σελήνης είναι εξίσου δύσκολο να την επιταχύνεις όπως και στη Γη, γιατί η μάζα της, της οποίας το μέτρο συνδέεται με την αδράνεια της, διατηρείται η ίδια.



Κατάδυση στη Φυσική

Πτώση των σωμάτων στον αέρα

Οι αστροναύτες στην επιφάνεια της Σελήνης άφησαν από το ίδιο ύψος ένα σφυρί και ένα φτερό την ίδια στιγμή. Τα σώματα χτύπησαν ταυτόχρονα στο έδαφος. Αν δεν υπάρχει αέρας όλα τα σώματα, ανεξάρτητα από το βάρος τους πέφτουν με την ίδια επιτάχυνση. Ο Γαλιλαίος πρόβαλε αυτό το γεγονός υποδεικνύοντας ότι η υπόθεση του Αριστοτέλη δεν ήταν σωστή. Ο Αριστοτέλης θεωρούσε ότι τα βαρύτερα σώματα πέφτουν πιο γρήγορα. Όμως ο Γαλιλαίος δεν εξήγησε γιατί τα σώματα πέφτουν με ίσες επιταχύνσεις. Η εξήγηση προήλθε από τον Νεύτωνα, ο οποίος συνδύασε το νόμο της παγκόσμιας έλξης με το δεύτερο νόμο της κίνησης.

Όταν η βαρυτική δύναμη είναι η μοναδική δύναμη που δρα στο σώμα, όταν δηλαδή η αντίσταση του αέρα αγνοείται, λέμε ότι το σώμα πέφτει ελεύθερα. Η κίνησή του ονομάζεται ελεύθερη πτώση. Σ' ένα σώμα διπλάσιας μάζας ασκείται διπλάσια βαρυτική δύναμη. Αλλά επειδή η επιτάχυνση είναι το πηλίκο της δύναμης προς τη μάζα, τελικά η επιτάχυνση προκύπτει σταθερή.

Στον αέρα όμως μια πρόσθετη δύναμη δρα στα κινούμενα σώματα. Επιχείρησε να κάνεις το παρακάτω πείραμα:

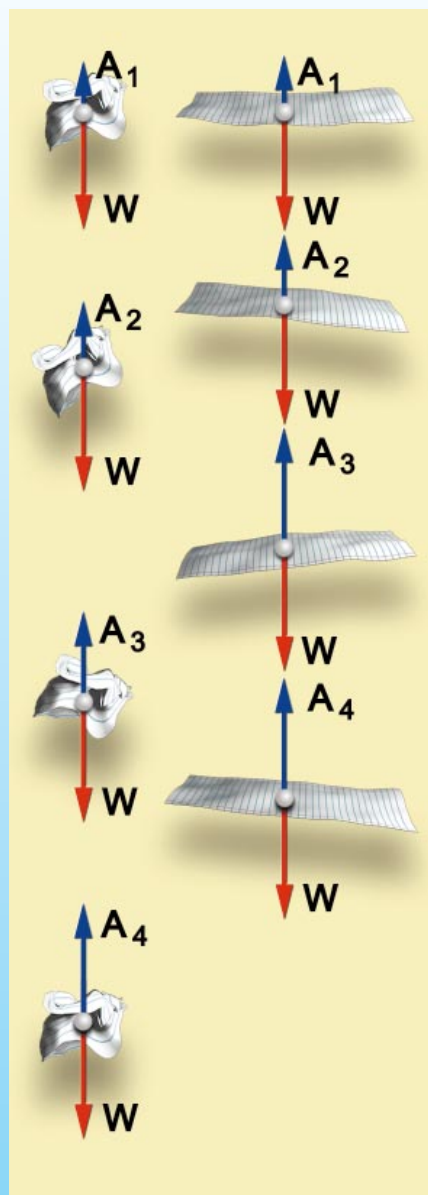
Πάρε δυο φύλλα ενός τετραδίου.

Τσαλάκωσε το ένα ώστε να γίνει μπαλίτσα.

Κράτησε τα δίπλα – δίπλα και άφησε τα συγχρόνως.

Τα δυο κομμάτια χαρτί δεν πέφτουν με την ίδια επιτάχυνση. Στο επίπεδο φύλλο ασκείται πολύ μεγαλύτερη αντίσταση από τον αέρα συγκριτικά με τη μπαλίτσα. Η αντίσταση του αέρα είναι μια δύναμη σαν την τριβή. Καθώς ένα σώμα κινείται στον αέρα συγκρούεται με τα μόρια του αέρα που ασκούν πάνω του δυνάμεις. Η συνολική δύναμη εξαρτάται από το σχήμα, το μέγεθος και την πυκνότητα του αέρα και αυξάνεται με την ταχύτητα του σώματος.

Αφήνουμε να πέσει ελεύθερα ένα πολύ μικρό μπαλάκι του πίνγκ – πόνγκ. Μόλις ξεκινά την κίνησή του έχει πολύ μικρή ταχύτητα και συνεπώς δέχεται μια πολύ μικρή δύναμη αντίστασης. Η προς το έδαφος βαρυτική δύναμη είναι μεγαλύτερη από την προς τα πάνω δύναμη αντίστασης. Επομένως το μπαλάκι επιταχύνεται προς το έδαφος. Καθώς αυξάνεται η ταχύτητά του, αυξάνεται και η δύναμη αντίστασης του αέρα και κάποια στιγμή εξισώνεται με τη βαρυτική δύναμη. Η συνισταμένη δύναμη,



τώρα μηδενίζεται και η ταχύτητα της μπάλας αποκτά σταθερή τιμή. Αυτή η σταθερή ταχύτητα ονομάζεται **οριακή ταχύτητα**.

Η οριακή ταχύτητα σ' ένα μπαλάκι του πίγκ – πόγκ στον αέρα είναι μόνο $9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ενώ μιας μπάλας του μπάσκετ $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.



Ένας «καταδύτης» του αέρα μπορεί να ρυθμίσει την οριακή ταχύτητα του μεταβάλλοντας τον τρόπο που πέφτει και το σχήμα του σώματός του. Με ένα σχήμα ιπτάμενου αετού πετυχαίνει τη μικρότερη οριακή ταχύτητα,

$$\text{περίπου } 200 \frac{\text{km}}{\text{h}} \text{ ή } 55 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Ανοίγοντας το αλεξίπτωτο ο καταδύτης γίνεται τμήμα ενός πολύ μεγαλύτερου αντικειμένου, στο οποίο ασκείται αντίστοιχα μεγαλύτερη δύναμη αντίστασης. Η τελική ταχύτητα είναι τώρα περίπου $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.



Εικόνα 2.37

Η δύναμη που αντιστέκεται στην κίνηση της γόμας είναι η τριβή.



Εικόνα 2.38

Η τριβή είναι ανάλογη της δύναμης που ασκείται κάθετα σε κάθε μια από τις επιφάνειες επαφής των δύο σωμάτων.

2.6 Τριβή

Κίνησε την παλάμη σου πάνω στο θρανίο. Η δύναμη που αισθάνεσαι να αντιστέκεται στην κίνηση του χεριού σου ονομάζεται **τριβή**. Η τριβή είναι παρούσα σε κάθε κίνηση, που παρατηρούμε στην καθημερινή μας ζωή. Στο ποδήλατο, στο αυτοκίνητο, σ ένα πλοίο που κινείται στη θάλασσα, στον αλεξιπτωτιστή που πέφτει στον αέρα. Αν δεν υπήρχε τριβή δε θα μπορούσαμε να βαδίσουμε. Θα γλιστρούσαμε όπως όταν προσπαθούμε να βαδίσουμε πάνω σε πάγο. Χωρίς τριβή οι τροχοί του αυτοκινήτου θα περιστρέφονταν στην ίδια θέση και το όχημα δεν θα κινούνταν. Δεν θα μπορούσες να χρησιμοποιήσεις τη γόμα σου για να διορθώσεις κάποιο λάθος στο γραπτό σου.

Γενικά **η τριβή είναι η δύναμη που αντιστέκεται στην κίνηση δύο επιφανειών που βρίσκονται σε επαφή**, όταν η μια κινείται ή τείνει να κινηθεί σε σχέση με την άλλη. Η διεύθυνση της τριβής είναι παράλληλη προς τις επιφάνειες που εφάπτονται και έχει φορά τέτοια ώστε να αντιστέκεται στην ολίσθηση της μιας επιφάνειας πάνω στην άλλη.

Είδαμε ότι η τριβή αντιστέκεται στην κίνηση των σωμάτων. Γι αυτό, για να κινήσουμε ένα σώμα με σταθερή ταχύτητα, θα πρέπει να ασκούμε πάνω του «κινητήρια» δύναμη αντίθετης φοράς και ίσου μέτρου με τη δύναμη της τριβής.

Από τι εξαρτάται όμως το μέτρο της δύναμης της τριβής;

Είναι πιο δύσκολο, δηλαδή χρειάζεται μεγαλύτερη δύναμη για να μετακινήσεις ένα κιβώτιο σε ένα τραχύ χωμάτινο

οριζόντιο δρόμο παρά το ίδιο κιβώτιο σε ένα πιο λείο δρόμο.

Αν στον ίδιο οριζόντιο δρόμο προσπαθήσεις να σύρεις ένα ελαφρύ και ένα βαρύ κιβώτιο, για το βαρύτερο θα χρειαστεί να ασκήσεις μεγαλύτερη δύναμη. Το βαρύ κιβώτιο ασκεί μεγαλύτερη δύναμη στην επιφάνεια επαφής του με τον οριζόντιο δρόμο και επομένως και το έδαφος ασκεί μεγαλύτερη δύναμη στο κιβώτιο. Οι δυνάμεις αυτές έχουν διεύθυνση κάθετη στις τριβόμενες επιφάνειες (σώματος και δρόμου).

Πειραματικά προκύπτει ότι η δύναμη τριβής εξαρτάται από το μέτρο της *κάθετης δύναμης*, που ασκεί κάθε μια από τις δύο επαπτόμενες επιφάνειες στην άλλη και από τη φύση αυτών των επιφανειών (εικόνες 2.38 και 39).

Η τριβή παίζει σημαντικό ρόλο σε πολλές καταστάσεις της καθημερινής ζωής. Πολλές φορές επιδιώκουμε να την ελαχιστοποιήσουμε: Χρησιμοποιούμε λάδι λίπανσης στις μηχανές των αυτοκινήτων για να ελαττώσουμε την τριβή μεταξύ των κινητών εξαρτημάτων τους. Η δύναμη τριβής επιβάλλει τη λειτουργία του κινητήρα ακόμη και όταν το αυτοκίνητο κινείται σε οριζόντιο δρόμο με σταθερή ταχύτητα.

Η τριβή δεν είναι όμως πάντοτε ανεπιθύμητη. Αν δεν υπήρχε τριβή τα καρφιά δεν θα μπορούσαν να στερεώσουν τίποτε, οι βιδωτοί λαμπτήρες και τα πώματα των φιαλών θα ξεβιδώνονταν χωρίς καμιά προσπάθεια. Η τριβή μεταξύ των τροχών και του οδοστρώματος επιτρέπει την κίνηση, την αλλαγή πορείας και το σταμάτημα του αυτοκινήτου. Χωρίς τριβή ακόμα και το βάδισμα θα ήταν αδύνατο (εικόνα 2.39β). Η μικρή τριβή δυσκολεύει το βάδισμα, όπως διαπιστώνουμε όταν επιχειρούμε να περπατήσουμε πάνω σε μια παγωμένη επιφάνεια.



Εικόνα 2.39α

Η τριβή εξαρτάται από το είδος των επιφανειών που βρίσκονται σε επαφή.



Εικόνα 2.39β



Δύναμη και κίνηση

- Σύνδεσε ένα δυναμόμετρο με ένα σώμα μάζας 1Kg τοποθετημένο πάνω στην επιφάνεια του θρανίου σου.
- Τράβηξε αργά την άλλη άκρη του δυναμόμετρου, διατηρώντας το οριζόντιο. Αύξησε, έτσι, σταδιακά τη δύναμη που ασκείται στο σώμα, μέχρι να αρχίσει να κινείται.
Τι δείχνει το δυναμόμετρο τη στιγμή που αρχίζει η κίνηση του σώματος;
- Σπρώξε ελαφρά το σώμα, ώστε να αποκτήσει μια σταθερή, μικρή ταχύτητα.
*Ποια είναι τώρα η ένδειξη του δυναμόμετρου;
Οι δυνάμεις που ασκούνται στο σώμα έχουν συνισταμένη μηδέν ή όχι; Εξήγησε.*
- Επανάλαβε την ίδια διαδικασία ασκώντας στο σώμα, μέσω του δυναμόμετρου, μια σταθερή, οριζόντια δύναμη 10N.
- Περιγράφει την κίνηση του σώματος.
Οι δυνάμεις που ασκούνται στο σώμα, στην περίπτωση αυτή αλληλοεξουδετερώνονται ή όχι; Εξήγησε.
- Υπολόγισε τη συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται στο σώμα.



Πως προκαλούνται οι σεισμοί



Στο στερεό φλοιό της Γης υπάρχουν μια σειρά από ρήγματα χερσαία ή υποθαλάσσια. Δυνάμεις που αναπτύσσονται στο εσωτερικό της Γης ωθούν τα πετρώματα να ολισθήσουν το ένα πάνω στο άλλο. Αρχικά οι ασκούμενες δυνάμεις δεν μπορούν να ξεπεράσουν τις τριβές που αναπτύσσονται μεταξύ τους. Έτσι τα πετρώματα απλώς παραμορφώνονται. Τελικά οι «κινητήριες» δυνάμεις υπερνικούν. Τότε τα πετρώματα επανέρχονται απότομα στην αρχική τους μορφή όπως μια τεντωμένη λαστιχένια μεμβράνη. Αυτή η βίαιη κίνηση συνοδεύεται από απελευθέρωση τεράστιας ποσότητας ενέργειας και προκαλεί το σεισμό.



Κατάδυση στη Φυσική

Ο ρόλος της τριβής στην κίνηση.

Οι δυνάμεις που αντιστέκονται στην αύξηση της ταχύτητας ενός ποδηλάτου οφείλονται στην τριβή στα ρουλεμάν των τροχών και ανάμεσα στους τροχούς και το δρόμο, στην αντίσταση του αέρα και όταν ο δρόμος είναι ανηφορικός και στο βάρος του ποδηλάτου και του αναβάτη. Για να μειωθεί η μάζα επομένως και το βάρος, έτσι ώστε να γίνει πιο εύκολη η κίνηση του ποδηλάτου, χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του κατάλληλα υλικά, όπως ελαφρά κράματα και συνθετικά υλικά που περιέχουν ανθρακικές ίνες. Ένα ποδήλατο κατασκευασμένο από τιτάνιο μπορεί να έχει μάζα μικρότερη από 9Kg και να είναι συγχρόνως ιδιαίτερα ανθεκτικό.

Για να μειωθεί η τριβή στα ρουλεμάν χρησιμοποιούνται βελτιωμένα λιπαντικά. Το μεγαλύτερο πρόβλημα για ένα ποδήλατο είναι η αντίσταση του αέρα. Περίπου το 70% της συνολικής αντίστασης του αέρα προκαλείται από τον ίδιο τον ποδηλάτη. Οι ποδηλάτες μειώνουν την αντίσταση του αέρα φορώντας εφαρμοστά ρούχα κατασκευασμένα από λείο ύφασμα. Νέα αεροδυναμικά σχήματα για ποδήλατα και κράνη χρησιμοποιούνται επίσης για να μειώσουν την αντίσταση του αέρα.

Για πιο λόγο νομίζει ότι οι ποδηλάτες διατηρούν μια σκυφτή θέση κατά τη διάρκεια της κούρσας;

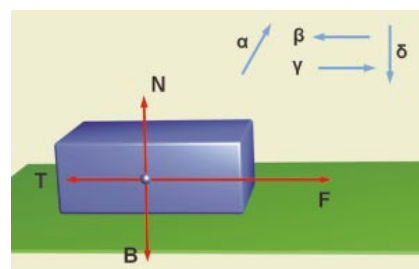



ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Συμπλήρωσε το παρακάτω κείμενο:
Η βαρυτική δύναμη μεταξύ δυο σωμάτων είναι των μαζών τους και του τετραγώνου της απόστασης τους.
Τριβή είναι η που αντιστέκεται στην μεταξύ δυο επιφανειών που βρίσκονται σε επαφή. Το μέτρο της τριβής εξαρτάται από την δύναμη στις επιφάνειες επαφής και από την των αυτών.
2. Ποια μορφή παίρνει ο δεύτερος νόμος του Νεύτωνα όταν η μοναδική δύναμη που ασκείται στο σώμα είναι η βαρυτική έλξη της Γης;
3. Από ποιους παράγοντες εξαρτάται το βάρος ενός σώματος και με ποιο τρόπο;

4. Ποιες από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστές;
 - α) Η μάζα είναι μονόμετρο μέγεθος ενώ το βάρος διανυσματικό.
 - β) Η μονάδα μάζας είναι το 1kg ενώ του βάρους είναι το 1N.
 - γ) Τόσο η μάζα ενός σώματος όσο και το βάρος του διατηρούνται σταθερά σε όλο το Σύμπαν.
 - δ) Στον ίδιο τόπο αν δυο σώματα έχουν το ίδιο βάρος θα έχουν και την ίδια μάζα.
5. Ένας αστροναύτης βρίσκεται στο διάστημα σε μια περιοχή, όπου δεν ασκούνται βαρυτικές δυνάμεις. Θέλει να διακρίνει δυο όμοια κλειστά κιβώτια, από τα οποία το ένα είναι άδειο και το άλλο γεμάτο με σιδερένιες βέργες. Τι πρέπει να κάνει;
6. Τι σημαίνει ελεύθερη πτώση; Γιατί ένα βαρύ αντικείμενο έχει την ίδια επιτάχυνση με ένα άλλο ελαφρύτερο όταν και τα δυο πέφτουν ελεύθερα;
7. Ένα βιβλίο βρίσκεται πάνω στο τραπέζι. Του δίνουμε μια ώθηση με το χέρι μας οπότε αρχίζει να ολισθαίνει. Αν η δύναμη τριβής που ασκείται στο βιβλίο έχει μέτρο 10N ποιο πρέπει να είναι το μέτρο της δύναμης από το χέρι μας για να συνεχίσει να κινείται με σταθερή ταχύτητα; Στη περίπτωση αυτή πόση είναι η ολική δύναμη και πόση η επιτάχυνση;

8. Στο κιβώτιο του διπλανού σχήματος ασκούνται τέσσερις δυνάμεις: Το βάρος του w , η αντίδραση του επιπέδου A , μια οριζόντια δύναμη F και η Τριβή T . Το κιβώτιο βρίσκεται πάνω σε οριζόντιο τραπέζι. Ποιο από τα διανύσματα α , β , γ , δ παριστάνει την επιτάχυνση του κιβωτίου;



9.  Εξηγείται το γεγονός ότι ένας βαρύς αλεξιπτωτιστής πέφτει ταχύτερα από έναν ελαφρύτερο, που φορά όμοιο αλεξίπτωτο;



10. Το μέτρο της επιτάχυνσης της βαρύτητας στην Σελήνη είναι περίπου το 1/6 του μέτρου της επιτάχυνσης στην επιφάνεια της Γης. Να συγκρίνεις τις δυνάμεις που απαιτούνται για την ανύψωση μιας πέτρας με μάζα 2Kg, στη Γη και στη Σελήνη. Στη συνέχεια να συγκρίνεις τις δυνάμεις που απαιτούνται για να ρίξεις την ίδια πέτρα οριζόντια (πάνω σε οριζόντιο τραπέζι χωρίς τριβές), ώστε να αποκτήσει στον ίδιο χρόνο την ίδια ταχύτητα και στους δυο τόπους



11. Να αναφέρεις μερικά επιθυμητά και μερικά ανεπιθύμητα αποτελέσματα της τριβής από την καθημερινή ζωή.

12. Μπορείς να προσδιορίσεις την τιμή της επιτάχυνσης της βαρύτητας στον τόπο σου χρησιμοποιώντας έναν ζυγό ισορροπίας και ένα δυναμόμετρο; Υπολόγισε την τιμή του g και σύγκρινέ την με αυτή που αναφέρεται στο βιβλίο σου.



13. Όταν ένα αυτοκίνητο κινείται σε οριζόντιο δρόμο με σταθερή ταχύτητα, η συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται σ' αυτό είναι μηδέν. Γιατί λοιπόν η μηχανή του πρέπει να είναι σε λειτουργία;

ΑΣΚΗΣΕΙΣ


Στις ασκήσεις που ακολουθούν θεώρησε ότι η επιτάχυνση της βαρύτητας στη επιφάνεια της Γης είναι $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

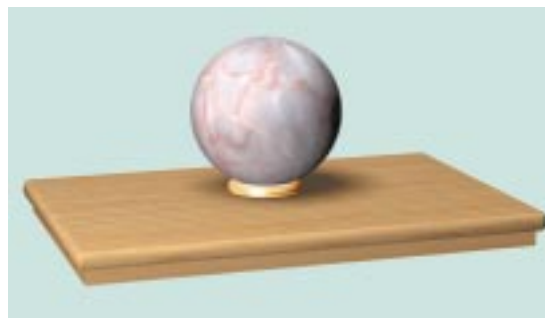
1. Πόσο είναι το γήινο βάρος καθενός από τα παρακάτω σώματα;

- α) μήλο μάζας $0,1\text{kg}$
- β) άνθρωπος μάζας 70kg
- γ) αυτοκίνητο μάζας 900kg

2. Ένας αστροναύτης με μάζα 75kg ταξιδεύει στον Άρη.

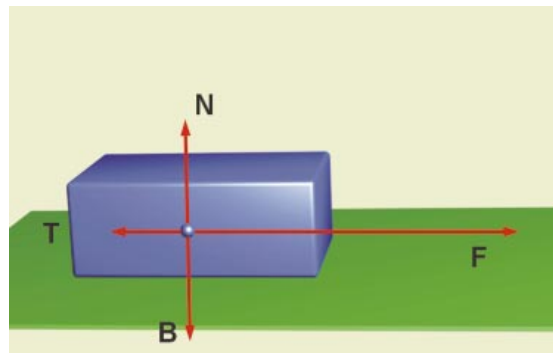
- α) Πόσο είναι το βάρος του στη Γη;
- β) Πόσο είναι το βάρος του στον Άρη, όπου η επιτάχυνση της βαρύτητας στην επιφάνεια του είναι $3,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$;
- γ) Όταν ο αστροναύτης βρεθεί στην κορυφή ενός βουνού έχει βάρος 690N . Ποια είναι η τιμή της επιτάχυνσης της βαρύτητας στην κορυφή αυτή;

3.  Μια μπάλα μάζας 2kg ισορροπεί πάνω σ' ένα τραπέζι. Να σχεδιάσετε τις δυνάμεις που ασκούνται στη μπάλα και να υπολογίσετε τα μέτρα τους.



4. Σε κιβώτιο μάζας που βρίσκεται αρχικά ακίνητο σε οριζόντιο τραπέζι ασκείται σταθερή οριζόντια δύναμη με μέτρο 100N. Καθώς το κιβώτιο ολισθαίνει, του ασκείται από το τραπέζι δύναμη τριβής 20N.

- α) Πόση είναι η επιτάχυνση του κιβωτίου;
β) Πόση ταχύτητα αποκτά το κιβώτιο μετά από χρόνο 2s;



5. Ένα αυτοκίνητο που αρχικά είναι ακίνητο, επιταχύνεται σε οριζόντιο δρόμο και ύστερα από χρονικό διάστημα 9s αποκτά ταχύτητα $27 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (ή $97,2 \frac{\text{km}}{\text{h}}$). Η μάζα του αυτοκινήτου είναι 1200kg. Από το οδόστρωμα και τον αέρα ασκείται δύναμη που αντιστέκεται στην κίνηση του αυτοκινήτου ίση με 300N συνολικά. Να βρεις:



- α) Την επιτάχυνση του αυτοκινήτου
β) Τη συνισταμένη δύναμη που ασκείται στο αυτοκίνητο
γ) Την προς τα εμπρός δύναμη που απαιτείται για να κινηθεί το αυτοκίνητο με αυτή την επιτάχυνση.
6. Ένα αυτοκίνητο μάζας 925kg κατά το φρενάρισμα επιβραδύνεται με επιτάχυνση μέτρου $12,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Να προσδιορίσεις το μέτρο και τη κατεύθυνση της δύναμης της τριβής.
7. Ένα κιβώτιο μάζας 5kg επιταχύνεται με την επίδραση μιας οριζόντιας δύναμης 40N και κινείται κατά μήκος μιας οριζόντιας επιφάνειας με επιτάχυνση $6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Ποιο είναι το μέτρο της δύναμης της τριβής που ασκείται στο κιβώτιο;

2.7 Τρίτος νόμος του Νεύτωνα

Κλωτσάμε μια μπάλα ποδοσφαίρου ή σπρώχνουμε ένα τοίχο. Ένας βαρκάρης μετακινεί μια βάρκα προς τη στεριά τραβώντας τη με ένα σκοινί. *Γενικά, όταν ένα σώμα αλληλεπιδρά με ένα άλλο σώμα, ποιο ασκεί τη δύναμη και ποιο τη δέχεται;*

Ο Νεύτωνας απέρριψε την ιδέα της ύπαρξης δότη και δέκτη δύναμης. Διακήρυξε ότι στη φύση υπάρχει συμμετρία και όλες οι δυνάμεις πρέπει να θεωρούνται ως δυνάμεις αλληλεπίδρασης μεταξύ δυο σωμάτων. Όταν κλωτσάμε τη μπάλα, στο πόδι μας αισθανόμαστε τη δύναμη που ασκεί η μπάλα πάνω του. Όσο πιο δυνατά σπρώχνουμε τον τοίχο άλλο τόσο μας σπρώχνει και ο τοίχος προς τα πίσω. Όταν ο βαρκάρης τραβά τη βάρκα και η βάρκα τραβά τον βαρκάρη, όπως μαρτυρεί το σφίξιμο του σχοινιού γύρω από το χέρι του.

Τέτοιες παρατηρήσεις οδήγησαν το Νεύτωνα στη διατύπωση του τρίτου νόμου της Μηχανικής:

Όταν ένα σώμα ασκεί δύναμη σ' ένα άλλο σώμα (δράση), τότε και το δεύτερο σώμα ασκεί δύναμη ίσου μέτρου και αντίθετης κατεύθυνσης στο πρώτο (αντίδραση).

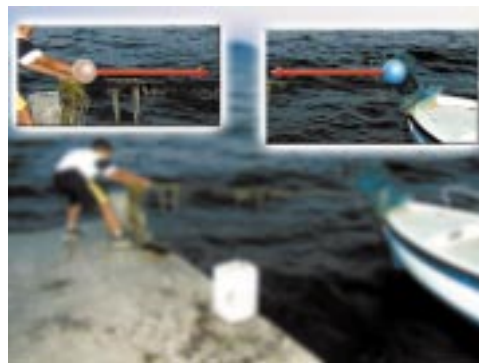
Ο τρίτος νόμος διατυπώνεται συχνά και ως εξής:

Σε κάθε δράση αντιστοιχεί πάντα μια αντίθετη και ίσου μέτρου αντίδραση.

Στη φύση οι δυνάμεις εμφανίζονται πάντοτε ανά ζεύγη. Ποτέ δεν υπάρχει δράση χωρίς την αντίστοιχη αντίδραση. Όταν στεκόμαστε όρθιοι ασκούμε στο πάτωμα κατακόρυφη δύναμη προς τα κάτω και το πάτωμα ασκεί πάνω μας μια ίση δύναμη με φορά προς τα πάνω. Όταν βαδίζουμε ασκούμε στο πάτωμα μια επιπλέον οριζόντια δύναμη προς τα πίσω και το πάτωμα ασκεί μια ίσου μέτρου και αντίθετη δύναμη (δύναμη τριβής) προς τα εμπρός.

Δεν έχει σημασία ποια από τις δυο δυνάμεις αποκαλούμε δράση και ποια αντίδραση, αρκεί να θυμόμαστε πάντα ότι συνυπάρχουν.

Στην εικόνα 2.42, το μήλο βρίσκεται σε ηρεμία πάνω στο τραπέζι. Σύμφωνα με τον πρώτο νόμο του Νεύτωνα, η συνισταμένη δύναμη που ασκείται στο μήλο είναι μηδέν. Το βάρος του μήλου (W) εξισορροπείται από την κάθετη αντίδραση (N) που του ασκεί το τραπέζι. Οι δυνάμεις αυτές έχουν ίσα μέτρα και αντίθετες κατευθύνσεις. Ωστόσο δεν αποτελούν ζεύγος δράση – αντίδραση, γιατί προέρχο-



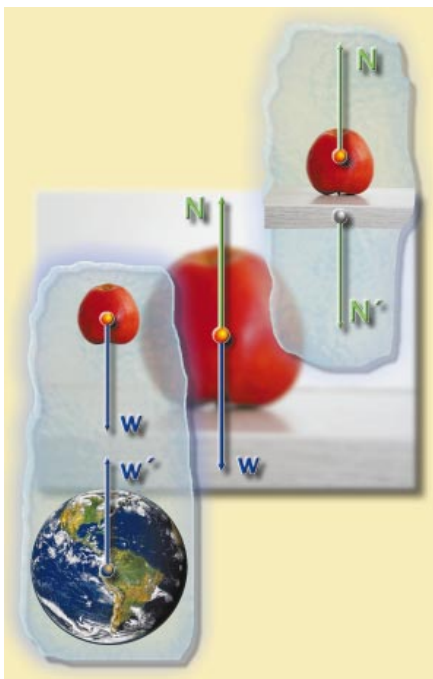
Εικόνα 2.40

Το παιδί ασκεί δύναμη στη βάρκα και η βάρκα ασκεί δύναμη στο παιδί.



Εικόνα 2.41

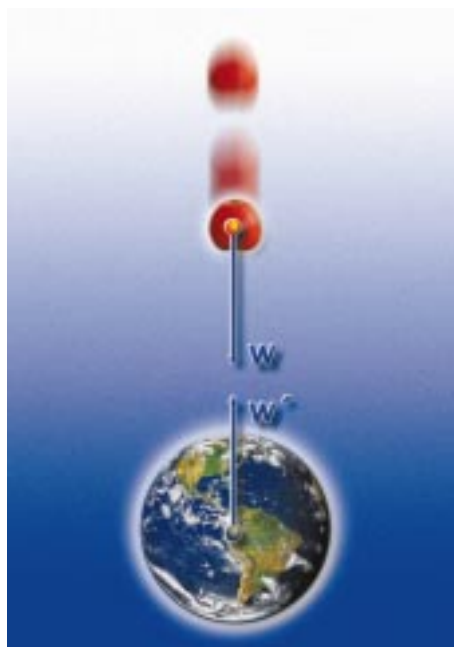
Το παιδί ασκεί δυνάμεις στο πάτωμα. Το πάτωμα ασκεί δυνάμεις στο παιδί.



Εικόνα 2.42

Η Γη ασκεί στο μήλο τη δύναμη του βάρους (W). Το μήλο ασκεί στη Γη τη δύναμη (W'), που έχει μέτρο ίσο με το βάρος (W) του μήλου και κατεύθυνση αντίθετη με αυτό.

Το τραπέζι ασκεί στο μήλο τη δύναμη N . Το μήλο ασκεί στο τραπέζι τη δύναμη N' . Οι δυνάμεις N και N' έχουν ίσα μέτρα και αντίθετες κατευθύνσεις.



Εικόνα 2.43

Το μήλο κινείται γιατί έχει μικρή αδράνεια. Η Γη παραμένει ακίνητη γιατί έχει μεγάλη αδράνεια

νται από την αλληλεπίδραση του μήλου με δύο διαφορετικά σώματα: Το βάρος είναι η δύναμη αλληλεπίδρασης του μήλου με τη Γη, ενώ η κάθετη αντίδραση με το τραπέζι. Εξάλλου, η δράση και η αντίδραση είναι δυνάμεις που ενεργούν πάντοτε σε δύο διαφορετικά σώματα, που αλληλεπιδρούν: Η δράση στο ένα εξ αυτών και η αντίδραση στο άλλο. Στην εικόνα καθορίζονται τα σωστά ζεύγη δράσης - αντίδρασης.

Ένα μήλο εγκαταλείπει τη μηλιά και κινείται προς το έδαφος. Οι βαρυτικές δυνάμεις ανάμεσα στο μήλο και τη Γη έχουν ίσα μέτρα και αντίθετες κατευθύνσεις.

Πως εξηγούμε λοιπόν ότι το μήλο κινείται προς τη Γη και όχι η Γη προς το μήλο;

Στο μήλο ασκείται από τη Γη η δύναμη του βάρους του. Ομοίως, στη Γη ασκείται από το μήλο βαρυτική έλξη μέτρου ίσου με το βάρος του μήλου. Όμως η μάζα του μήλου είναι πολύ μικρότερη από τη μάζα της Γης. Επομένως η αδράνεια του μήλου είναι πολύ μικρότερη της αδράνειας της Γης. Έτσι, κάτω από τη δράση δυνάμεων ίδιου μέτρου η μεταβολή της ταχύτητας του μήλου είναι πολύ μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της Γης. Η μεταβολή της ταχύτητας της Γης είναι τόσο μικρή που δεν γίνεται αντιληπτή. Έτσι, παρατηρούμε τη Γη να μένει ακίνητη ενώ το μήλο να κινείται προς αυτή.

Εφαρμογές του τρίτου νόμου του Νεύτωνα

Πως σε ένα ελικόπτερο ασκείται ανυψωτική δύναμη;

Τα φτερά της έλικας όταν γυρίζουν σπρώχνουν προς τα κάτω τα μόρια του αέρα (δράση). Τα μόρια του αέρα ωθούν την έλικα προς τα πάνω (αντίδραση). Η προς τα πάνω συνολική δύναμη που ασκούν τα μόρια του αέρα στην έλικα, λέγεται δυναμική άνωση. Όταν η δυναμική άνωση εξισωθεί με το βάρος του ελικόπτερου, αυτό μπορεί να διατηρηθεί σε σταθερό ύψος. Όταν η δυναμική άνωση γίνει μεγαλύτερη του βάρους, το ελικόπτερο επιταχύνεται προς τα πάνω (εικόνα 2.44).

Με ανάλογο τρόπο πετούν τα πουλιά και τα αεροπλάνα. Τα φτερά των πουλιών παίρνουν τέτοιο σχήμα, ώστε να σπρώχνουν τον αέρα προς τα κάτω οπότε ο αέρας τα σπρώχνει προς τα πάνω. Με ελαφρά κλίση τμήματος των φτερών του αεροπλάνου, ο αέρας που συναντά στρέφεται προς τα πάνω ή προς τα κάτω. Έτσι, ο αέρας ασκεί δύναμη στο αεροπλάνο και το αναγκάζει να αλλάξει πορεία. Στα ελικοφόρα αεροπλάνα οι έλικες σπρώχνουν τον αέρα προς τα πί-

σω, οπότε ο αέρας τις σπρώχνει προς τα εμπρός (εικόνα 2.44). Στα αεριωθούμενα αεροπλάνα η τουρμπίνα ρουφά αέρα από εμπρός και τον σπρώχνει προς τα πίσω. Αυτός με τη σειρά του σπρώχνει το αεροσκάφος μπροστά. Παρόμοια στα πλοία, η προπέλα σπρώχνει το νερό προς τα πίσω οπότε το νερό τη σπρώχνει προς τα μπρος.



Εικόνα 2.44

Η ανοδική κίνηση του ελικοπτέρου μπορεί να ερμηνευθεί με τη βοήθεια του τρίτου νόμου του Νεύτωνα.



Μια εφαρμογή του 3ου νόμου του Νεύτωνα

- Πάρε μια ηλεκτρονική ζυγαριά.
- Τοποθέτησε πάνω έναν πλακέ μαγνήτη.
- Σημείωσε τις ενδείξεις της ζυγαριάς. Πίεσε με το δάκτυλο σου τη ζυγαριά. Παρατήρησε την ένδειξη της.
- Πως ερμηνεύεις αυτό που παρατηρείς;
- Μπορείς να υπολογίσεις τη δύναμη που ασκεί το δάκτυλο σου στον μαγνήτη;



- Πλησίασε ένα όμοιο μαγνήτη πάνω από τον μαγνήτη που είναι στη ζυγαριά, πρώτα με τον βόρειο πόλο και μετά με τον νότιο πόλο. Παρατήρησε τις ενδείξεις του ζυγού. Μπορείς να ερμηνεύσεις τις διαφορές;
- Μπορείς να υπολογίσεις την δύναμη που ασκεί στις δυο περιπτώσεις ο μαγνήτης που πλησιάζεις στον μαγνήτη της ζυγαριάς;
- Σκέψου ένα τρόπο με τον οποίο χωρίς τη χρήση ζυγαριάς αλλά με εφαρμογή του τρίτου νόμου του Νεύτωνα μπορείς να προσδιορίσεις το βάρος του μαγνήτη που πλησιάζεις.

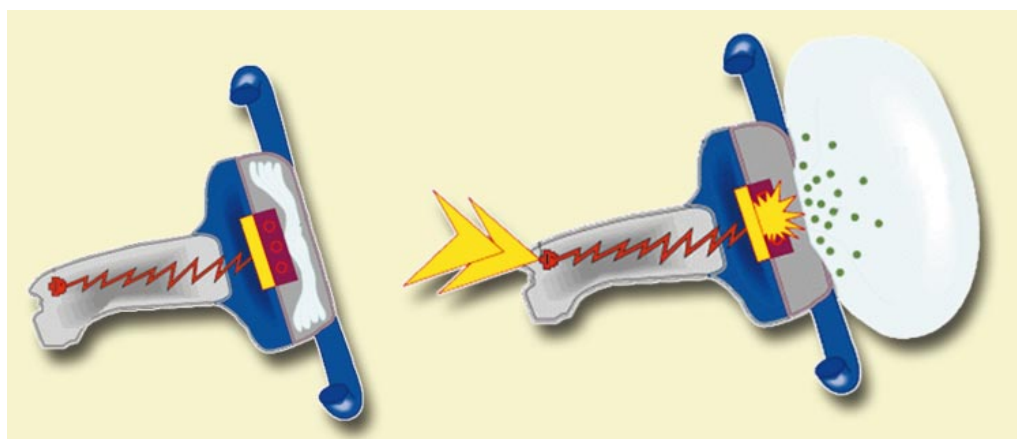


Αερόσακοι

Το αυτοκίνητο προσφέρει στον άνθρωπο ελευθερία κίνησης αλλά συγχρόνως έχει γίνει αιτία πλήθους θανάτων και τραυματισμών εξ αιτίας των συγκρούσεων. Οι αυτοκινητοβιομηχανίες, για να βελτιώσουν την ασφάλεια, έχουν εγκαταστήσει συστήματα είτε για την αποφυγή των ατυχημάτων είτε για την προστασία των επιβατών από τις συνέπειες ενός ατυχήματος. Τα πιο αποτελεσματικά παθητικά συστήματα ασφάλειας είναι οι ζώνες και οι αερόσακοι. Αυτά τα συστήματα επιτρέπουν στους επιβάτες του αυτοκινήτου να επιβραδυνθούν όσο και το αυτοκίνητο. Έτσι δεν εκτοξεύονται πάνω στο αμάξωμα, όπου κατά την πρόσκρουση θα μηδενίζονταν η ταχύτητά τους πολύ γρηγορότερα και επομένως θα δέχονταν πολύ μεγαλύτερες δυνάμεις.



Οι αερόσακοι είναι δυνατόν να εγκατασταθούν στις θέσεις του οδηγού και του συνοδηγού. Σε μια σύγκρουση εξ αιτίας της μεγάλης επιβράδυνσης διεγείρονται αισθητήρες, οι οποίοι ενεργοποιούν ένα αναφλεκτήρα. Έτσι διασπώνται σβώλοι (sodium acid) και παράγεται αέριο άζωτο το οποίο φουσκώνει τον πλαστικό σάκο εξαναγκάζοντας τον να βγει από τη θήκη του. Όλη η διαδικασία ολοκληρώνεται σε λιγότερο από 40 χιλιοστά του δευτερόλεπτου. Ο αερόσακος αυξάνει το χρονικό διάστημα μέχρι το μηδενισμό της ταχύτητας του επιβάτη. Χάρης στον αερόσακο οι βλάβες στο κεφάλι ή το στήθος μειώνονται ή εξαλείφονται. Με τη δύναμη που ασκεί ο επιβάτης στο σάκο το αέριο διαφεύγει από τρύπες που έχουν προβλεφθεί. Ο σάκος ξεφουσκώνει σε δύο δευτερόλεπτα επιτρέποντας στον οδηγό να επανακτήσει τον έλεγχο των κινήσεων του.





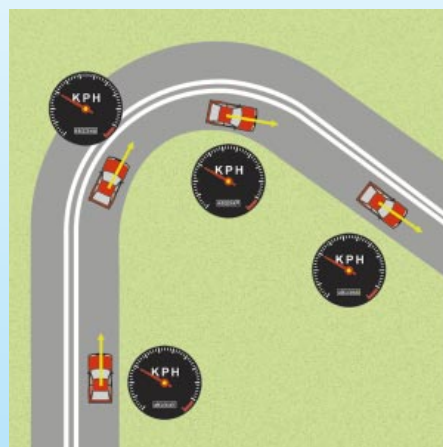
Κατάδυση στη Φυσική

Κυκλική κίνηση. Η κίνηση των πλανητών

Ένα αυτοκίνητο κινείται σε στροφή σταθερής ακτίνας ενώ η ένδειξη του ταχύμετρου διατηρείται σταθερή. Η Γη περιφέρεται γύρω από τον Ήλιο σε (σχεδόν) κυκλική τροχιά κάνοντας μια πλήρη περιφορά σε ένα έτος. Οι παραπάνω κινήσεις είναι παραδείγματα κινήσεων σε κυκλική τροχιά, στις οποίες το μέτρο της ταχύτητας διατηρείται σταθερό. Μια τέτοια κίνηση ονομάζεται ομαλή κυκλική. Μπορούμε να εξαναγκάσουμε μια γόμα να κάνει ομαλή κυκλική κίνηση δένοντάς την με ένα σπάγκο και περιφέροντας την σε οριζόντιο κύκλο.

Υπάρχει επιτάχυνση στην ομαλή κυκλική κίνηση (Ο.Κ.Κ.);

Η ταχύτητα όπως γνωρίζουμε είναι διανυσματικό μέγεθος. Προσδιορίζεται από το μέτρο, τη διεύθυνση και τη φορά της. Στην Ο.Κ.Κ. το μέτρο της διατηρείται σταθερό. Η διεύθυνση της σε κάθε σημείο, είναι εφαπτόμενη της κυκλικής τροχιάς και η φορά της καθορίζεται από τη φορά της κίνησης. Εφόσον μεταβάλλεται η διεύθυνση της ταχύτητας, η κίνηση είναι επιταχυνόμενη. Προκύπτει ότι σε κάθε σημείο της τροχιάς η επιτάχυνση του σώματος έχει τη διεύθυνση της ακτίνας και φορά προς το κέντρο του κύκλου. Γι αυτό και λέγεται και κεντρομόλος επιτάχυνση.



Σύμφωνα με το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα θα πρέπει να ασκείται μια (συνολική) δύναμη που έχει τη κατεύθυνση της κεντρομόλου επιτάχυνσης. Αυτή η δύναμη ονομάζεται κεντρομόλος δύναμη. Η προέλευση της κεντρομόλου δύναμης ποικίλει. Κατά την κίνηση αυτοκινήτου σε οριζόντια στροφή η αναγκαία κεντρομόλος δύναμη είναι η στατική τριβή. Στο πείραμα με τη περιστρεφόμενη γόμα ή στον τροχό του Λούνα Πάρκ η δύναμη ασκείται από τον σπάγκο ή την αλυσίδα. Αν σπάσει ο σπάγκος ή η αλυσίδα η γόμα θα κινηθεί κατά την εφαπτόμενη της τροχιάς με την ταχύτητα που είχε κατά την περιφορά.

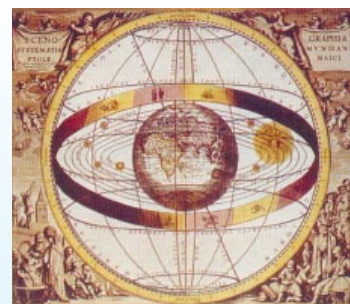
Όμοια στο αγώνισμα της σφύρας η δύναμη ασκείται από τον αθλητή στη μεταλλική σφύρα μέσω της αλυσίδας. Όταν ο αθλητής αφήσει την αλυσίδα η σφύρα κινείται με αρχική ταχύτητα εφαπτόμενη στο κύκλο περιστροφής της. Τότε ασκείται στη σφύρα μόνο η βαρυτική δύναμη προκαλώντας τελικά την πτώση της προς το έδαφος.

Ποια όμως είναι η προέλευση της αναγκαίας κεντρομόλου δύναμης για τις ουράνιες κινήσεις των πλανητών και των δορυφόρων τους;

Οι αρχαίοι Έλληνες, με κύριο εκφραστή τον Αριστοτέλη, θεωρούσαν τις κυκλικές κινήσεις των ουρανίων σωμάτων ως «φυσικές». Πίστευαν ότι τα άστρα, οι πλανήτες και η Σελήνη κινούνταν σε ιερούς κύκλους ελεύθερα από την επίδραση οποιασδήποτε δύναμης. Από την αρχαιότητα ήδη είχαν διαμορ-

φωθεί δυο συστήματα για τις κινήσεις των πλανητών, του Ήλιου και της Σελήνης:

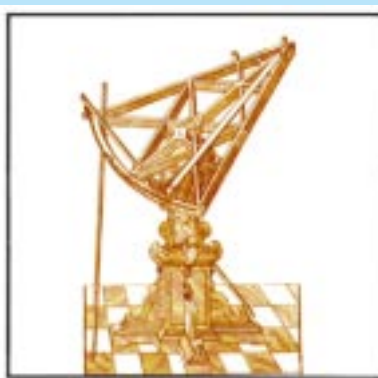
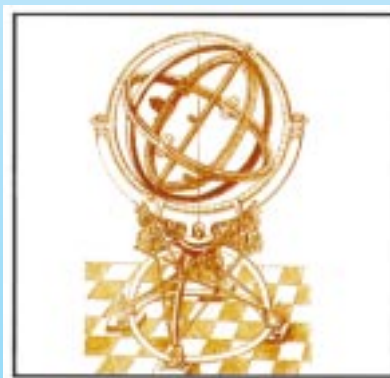
Το γεωκεντρικό σύμφωνα με το οποίο η Γη αποτελεί το κέντρο του σύμπαντος. Ο Ήλιος, η Σελήνη, οι πλανήτες και τα άστρα περιφέρονται γύρω από αυτήν. Αυτή η θεωρία διατυπώθηκε αρχικά από τον Αριστοτέλη. Την επεξεργάστηκε ο Πτολεμαίος τον 2ο μ.Χ. αιώνα, και επεκράτησε μέχρι τον 16ο αιώνα.



Το ηλιοκεντρικό σύμφωνα με το οποίο ο Ήλιος βρίσκεται στο κέντρο του Σύμπαντος. Οι πλανήτες και η Γη περιφέρονται γύρω του. Αυτή η αντίληψη διαμορφώθηκε αρχικά από τον Αρίσταρχο το Σάμιο τον 6ο αιώνα π.Χ.

Τον 16ο αιώνα ο Πολωνός αστρονόμος Κοπέρνικος (1473-1543), στηριζόμενος στις ιδέες του Αρίσταρχου, ανακάλυψε ότι η περιγραφή των κινήσεων των πλανητών θα απλουστεύονταν σημαντικά αν θεωρούσαμε ότι περιφέρονται μάλλον γύρω από τον Ήλιο παρά γύρω από η Γη. Η άποψη αυτή υποστηρίχθηκε και από τον Γαλιλαίο (1564-1642).

Ο Γαλιλαίος κατασκεύασε ένα από τα πρώτα τηλεσκόπια, με το οποίο παρατηρούσε τους πλανήτες και τους δορυφόρους τους. Το ηλιοκεντρικό σύστημα θεωρήθηκε απειλή για την ιεραρχική δομή των κοινωνιών του 15ου και 16ου αιώνα και γι' αυτό προκάλεσε τη σφοδρή αντίθεση της Δυτικής εκκλησίας.



Την ίδια περίοδο ο Δανός αστρονόμος Τύχο Μπράχε (1546-1601) αφιέρωσε 20 χρόνια για να καταγράψει προσεκτικά τις ακριβείς θέσεις των πλανητών. Αν και ο Μπράχε πίστευε ισχυρά στην γεωκεντρική θεωρία ο Γερμανός μαθητής του Κέπλερ (1571-1630) αποφάσισε να χρησιμοποιήσει το ηλιοκεντρικό σύστημα για να ερμηνεύσει τα δεδομένα του Μπράχε. Κάνοντας μια προσεκτική ανάλυση των δεδομένων διατύπωσε τους νόμους που περιγράφουν την κίνηση των πλανητών και των δορυφόρων τους. Ο Κέπλερ όμως δεν κατόρθωσε να δώσει μια γενική ερμηνεία των νόμων που διατύπωσε. Αν και γνώριζε τις έννοιες του Γαλιλαίου για την αδράνεια και την επιτάχυνση δεν κατάφερε να τις αξιοποιήσει. Θεωρούσε ότι υπήρχαν δυνάμεις που είχαν τη ίδια κατεύθυνση με τις τροχιές των πλανητών ώστε να τους κρατούν σε κίνηση. Από την άλλη μεριά ο Γαλιλαίος ουδέποτε εκτίμησε την εργασία του Κέπλερ. Η βαθύτερη κατανόηση της κίνησης των πλανητών απαιτούσε κάποιον που θα μπορούσε να συνδυάσει τα ευρήματα των δυο μεγάλων επιστημόνων.

Ο ρόλος αυτός έλαχε στον Ισαάκ Νεύτωνα (1642–1727). Αρχικά από το νόμο της αδράνειας ο Νεύτωνα συμπεράνει ότι πρέπει να ασκείται κάποια δύναμη στους πλανήτες, αλλιώς οι τροχιές τους έπρεπε να είναι ευθείες γραμμές. Με βάση τους νόμους του Κέπλερ έδειξε πως πηγή της ελκτικής δύναμης είναι ο Ήλιος και πως το μέτρο της είναι αντιστρόφως ανάλογο του τετράγωνου της απόστασης μεταξύ ήλιου και του κάθε πλανήτη. Θεωρώντας ότι αυτή η δύναμη είναι ίδια με τη βαρυτική δύναμη που προκαλεί την πτώση ενός μήλου στη Γη ο Νεύτωνα διατυπώσε τελικά το 1687 το νόμο της παγκόσμιας έλξης. Η βαρυτική δύναμη που ασκεί ο Ήλιος στους πλανήτες ή οι πλανήτες στους δορυφόρους τους είναι η αναγκαία κεντρομόλος δύναμη για την (σχεδόν) κυκλική κίνηση τους.

Κατά τη κυκλική κίνηση ενός πλανήτη ή ενός δορυφόρου το μέτρο της ταχύτητάς του παραμένει σταθερό. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση του πλανήτη από τον ήλιο, τόσο μικρότερη είναι η ταχύτητά με την οποία περιστρέφεται και τόσο μεγαλύτερη η περίοδος του (ο χρόνος για μια πλήρη περιστροφή).

Οι μετεωρολογικοί δορυφόροι κινούνται σε ύψος περίπου 150 χιλιόμετρα από την επιφάνεια της Γης. Έχουν ταχύτητα $8 \frac{\text{Km}}{\text{s}}$ και περίοδο 90 λεπτά. Σε μεγαλύτερα ύψη η ταχύτητα των δορυφόρων είναι μικρότερη και η περίοδος μεγαλύτερη.

Κάποιοι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι που βρίσκονται σε απόσταση 36.000 χιλιομέτρων από την επιφάνεια της Γης (5.5 φορές την ακτίνα της Γης). Έχουν περίοδο περιφοράς 24 ώρες, ίση με αυτή της γης γύρω από τον άξονά της και έτσι φαίνονται σαν να αιωρούνται στην ίδια θέση.

Η Σελήνη που βρίσκεται σε απόσταση 390.000 χιλιομέτρων από τη Γη (60 γηίνων ακτίνων) έχει περίοδο 27,3 μέρες.

Όλα αυτά μπορούμε να τα υπολογίσουμε αν εφαρμόσουμε το νόμο της παγκόσμιας έλξης και τους υπόλοιπους νόμους του Νεύτωνα. Λίγες θεωρίες έχουν επηρεάσει την επιστήμη και τον πολιτισμό όσο η θεωρία της βαρύτητας του Νεύτωνα. Ο Νεύτωνα απέδειξε ότι με την παρατήρηση και τη λογική, με τη χρήση μοντέλων και την εξαγωγή μαθηματικών νόμων, οι άνθρωποι μπορούν να περιγράψουν με ακρίβεια και συνέπεια τα φαινόμενα που συμβαίνουν στο Σύμπαν. Η διατύπωση του νόμου της παγκόσμιας έλξης και ο συνδυασμός τους με τους νόμους της κίνησης δημιούργησαν το οικοδόμημα της Νευτώνειας Φυσικής. Η ερμηνεία των ουράνιων κινήσεων με χρήση ενός απλού νόμου εδραίωσε την αξιοπιστία της επιστήμης γιατί έδωσε την ελπίδα πως και άλλα φαινόμενα είναι δυνατό να περιγραφούν με εξίσου απλούς νόμους.

Το 1915 στα πλαίσια της γενικής θεωρίας της σχετικότητας ο Αλβέρτος Αϊνστάιν (1879–1955) πρότεινε μια νέα θεωρία για τη βαρύτητα. Σύμφωνα με αυτήν η βαρύτητα δεν είναι δύναμη από απόσταση αλλά είναι μια τοπική ιδιότητα του χώρου. Οι προβλέψεις της θεωρίας διαφέρουν σε ορισμένες περιπτώσεις από τις προβλέψεις της θεωρίας του Νεύτωνα. Ο ίδιος ο Αϊνστάιν πρότεινε μια σειρά από παρατηρήσεις και πειράματα τα οποία επαλήθευσαν μέχρι τώρα την ορθότητα της γενικής θεωρίας της σχετικότητας.



ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Ποιες από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστές;
α) Η δράση και η αντίδραση έχουν ίσο μέτρο και αντίθετη φορά.
β) Η δράση και η αντίδραση ασκούνται στο ίδιο σώμα.
γ) Σε κάθε δράση αντιστοιχεί πάντα μια αντίδραση.
δ) Δυο σώματα στα οποία ασκούνται η δράση και η αντίδραση, αντίστοιχα, κινούνται με την ίδια επιτάχυνση.
2. Με βάση τον τρίτο νόμο του Νεύτωνα να ερμηνεύσεις την κίνηση
α) ενός πλοίου
β) ενός ελικοπτέρου,
γ) ενός αεριωθούμενου αεροπλάνου
3. Από μια μεγάλη γέφυρα αφήνεις να πέσει προς το ποτάμι μια μεγάλη πέτρα. Η Γη ασκεί βαρυτική δύναμη προς την πέτρα και την επιταχύνει προς τα κάτω. Ασκείται δύναμη από τη πέτρα στη Γη; Θα παρατηρήσουμε τη Γη να επιταχύνεται προς τα πάνω; Εξήγησε.
4. Σύμφωνα με το μύθο ένα άλογο γνώριζε τους νόμους του Νεύτωνα. Όταν του είπαν να σύρει ένα κάρο αρνήθηκε απαντώντας: «εάν ασκήσω δύναμη στο κάρο προς τα εμπρός, τότε σύμφωνα με τον τρίτο νόμο του Νεύτωνα και το κάρο θα ασκήσει δύναμη ίσου μέτρου προς τα πίσω. Συνεπώς η συνολική δύναμη θα είναι ίση με το μηδέν και σύμφωνα με τον πρώτο νόμο του Νεύτωνα το κάρο θα παραμείνει ακίνητο». Τι θα απαντούσες σ'αυτό το μάλλον περίεργο άλογο;
5. Κατά την εκपुरσοκρότηση πυροβόλου όπλου, το όπλο «κλωτσάει» δηλαδή μόλις η σφαίρα εξέλθει από την κάνη του το όπλο κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση από αυτή που κινείται η σφαίρα. Μπορείς να δώσεις μια εξήγηση;



7. Ένας συμμαθητής σου στέκεται στο πάτωμα. Ποιες δυνάμεις του ασκούνται; Έχουν αυτές οι δυνάμεις ίσα μέτρα και αντίθετες κατευθύνσεις; Αποτελούν ζεύγος δράση – αντίδραση; Εξήγησε.

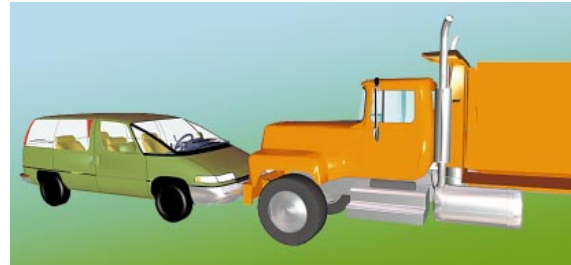
8. Ένα μήλο ισορροπεί πάνω σε ένα οριζόντιο τραπέζι. Ποιες δυνάμεις ασκούνται στο μήλο; Ποια είναι τα ζεύγη των δυνάμεων δράση – αντίδραση;

9. Ένα μεγάλο φορτηγό και ένα μικρό ΙΧ αυτοκίνητο συγκρούονται μετωπικά.

α) Σε ποιο από τα δυο οχήματα θα ασκηθεί μεγαλύτερη δύναμη;

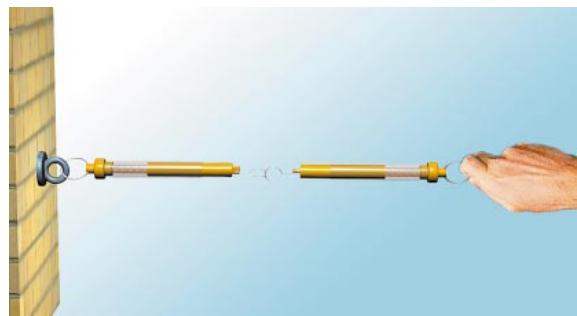
β) Ποιο από τα δυο οχήματα θα αποκτήσει τη μεγαλύτερη επιτάχυνση (στη περίπτωση μας λέγεται και επιβράδυνση);

Να δικαιολογήσεις την απάντησή σου.



10. Η Γη έχει μάζα περίπου 100 φορές μεγαλύτερη από τη μάζα της Σελήνης. Ποια σχέση συνδέει τα μέτρα των δυνάμεων που ασκούνται από τη Γη στη Σελήνη και από τη Σελήνη στη Γη;

11. Ένας μαθητής κάνει το πείραμα που φαίνεται στην διπλανή εικόνα. Από τις ενδείξεις των δυναμόμετρων και από τις κατευθύνσεις των δυνάμεων συμπεραίνει ότι ισχύει ο τρίτος νόμος του Νεύτωνα. Είναι σωστός ο συλλογισμός του; Ναι ή όχι και γιατί;



ΑΣΚΗΣΕΙΣ

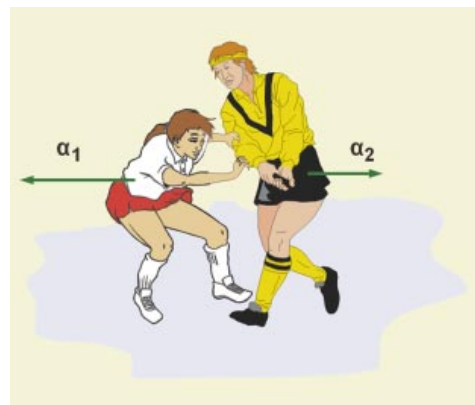
1. Σ' ένα μήλο μάζας $0,1\text{ kg}$, η Γη ασκεί σ' αυτό μια βαρυτική δύναμη. Όταν το μήλο αφήνεται ελεύθερο η βαρυτική δύναμη το επιταχύνει με επιτάχυνση μέτρου προς την επιφάνεια της. Ποια είναι η κατεύθυνση και το μέτρο της δύναμης που ασκεί:

α) η Γη στο μήλο

β) το μήλο στη Γη

γ) Με δεδομένο ότι η Γη έχει μάζα $6 \cdot 10^{24}\text{ kg}$ ποιο είναι το μέτρο της επιτάχυνσης της Γης; Θα κινηθεί η Γη προς το μήλο;

2. Ένα αγόρι με μάζα 60kg και ένα κορίτσι με μάζα 40kg σπρώχνουν το ένα το άλλο ενώ βρίσκονται πάνω σε μια πίστα πάγου, όπου δεν αναπτύσσονται δυνάμεις τριβής. Αν το κορίτσι απομακρύνεται από το αγόρι με επιτάχυνση $3 \frac{m}{s^2}$, ποιο είναι το μέτρο της επιτάχυνσης του αγοριού;



3. Από ένα νήμα κρεμάμε αντικείμενο βάρους 1N, όπως δείχνει η διπλανή εικόνα. Να σχεδιάσεις και να υπολογίσεις τα μέτρα των δυνάμεων, που ασκούνται
α) στο αντικείμενο
β) στο νήμα.



4. Μια μπάλα μάζας 2kg ισορροπεί πάνω σ' ένα τραπέζι. Να σχεδιάσεις τις δυνάμεις που ασκούνται στη μπάλα και να υπολογίσεις τα μέτρα τους ($g = 10 \frac{m}{s^2}$).
5. Ένα παιδί, που έχει μάζα 50kg στέκεται σε μια «ζυγαριά μπάνιου». Η ζυγαριά αυτή είναι ουσιαστικά ένα δυναμόμετρο και είναι βαθμολογημένη σε N
α) Ποιο είναι το μέτρο και ποια η κατεύθυνση της δύναμης που ασκεί η ζυγαριά στον Σάββα;
β) Στη συνέχεια το παιδί παίρνει στα χέρια του ένα γατάκι μάζας 1kg. Ποια είναι τώρα η ένδειξη της ζυγαριάς;
γ) Αφού το παιδί αφήσει το γατάκι έρχεται ο πατέρας του και τον πιέζει στους ώμους προς τα κάτω με μια δύναμη 72N. Ποια είναι τώρα η ένδειξη της ζυγαριάς; ($g = 10 \frac{m}{s^2}$)
6. Ένα ελικόπτερο μάζας 4500kg επιταχύνεται κατακόρυφα προς τα πάνω με επιτάχυνση $2 \frac{m}{s^2}$.
α) Ποιο είναι το μέτρο της ανυψωτικής δύναμης που ασκείται από τον αέρα στις έλικες του αεροπλάνου;
β) Ποιο είναι το μέτρο της δύναμης που ασκούν οι έλικες στον αέρα;

Περίληψη κεφαλαίου 2: Δυνάμεις

- Οι δυνάμεις προκαλούν μεταβολή στην ταχύτητα ή την παραμόρφωση των σωμάτων.
- Οι δυνάμεις εμφανίζονται πάντα ως αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σωμάτων.
- Οι δυνάμεις είναι διανυσματικά μεγέθη. Έχουν μέτρο και κατεύθυνση.
- Αδράνεια είναι η τάση των σωμάτων να αντιστέκονται σε οποιαδήποτε μεταβολή της ταχύτητας τους.
- Πρώτος νόμος του Νεύτωνα: «Ένα σώμα συνεχίζει να παραμένει ακίνητο ή να κινείται ευθύγραμμα και ομαλά εφόσον η συνολική δύναμη που ασκείται σ' αυτό είναι μηδέν».
- Δεύτερος νόμος του Νεύτωνα: «Η επιτάχυνση που αποκτά ένα σώμα είναι ανάλογη της συνολικής δύναμης που ασκείται σ' αυτό και αντιστρόφως ανάλογη της μάζας του».
- Τρίτος νόμος του Νεύτωνα: «Οι δυνάμεις εμφανίζονται πάντοτε ανά ζεύγη. Όταν ένα σώμα ασκεί δύναμη σ' ένα άλλο, τότε και το δεύτερο σώμα ασκεί στο πρώτο δύναμη ίσου μέτρου και αντίθετης φοράς».
- Νόμος της παγκόσμια έλξης του Νεύτωνα: «Μεταξύ δυο σωμάτων ασκείται πάντοτε ελκτική βαρυτική δύναμη. Αν τα σώματα έχουν πολύ μικρές διαστάσεις σε σχέση με τη μεταξύ τους απόσταση τότε το μέτρο της βαρυτικής δύναμης είναι ανάλογο των μαζών τους και αντιστρόφως ανάλογο του τετραγώνου της μεταξύ τους απόστασης».
- Μάζα είναι το μέτρο της αδράνειας ενός σώματος. Η μάζα κάθε σώματος είναι ίδια σε οποιοδήποτε μέρος του Σύμπαντος κι αν το τοποθετήσουμε. Βάρος ονομάζεται η βαρυτική δύναμη που ασκείται σ' ένα σώμα από τη Γη. Το βάρος αλλάζει από τόπο σε τόπο.
- Το βάρος ενός σώματος είναι ανάλογο με τη μάζα του.
- Η τριβή είναι η δύναμη που αντιστέκεται στη κίνηση δυο επιφανειών, που βρίσκονται σε επαφή.

Β Α Σ Ι Κ Ο Ι Ο Ρ Ο Ι

Δύναμη	Αδράνεια
Παραμόρφωση	Πρώτος νόμος του Νεύτωνα
Αλληλεπίδραση	Δεύτερος νόμος του Νεύτωνα
Νόμος του Χούκ	Τρίτος νόμος του Νεύτωνα
Συνισταμένη	Βαρυτική δύναμη
Συνιστώσες	Νόμος της παγκόσμιας έλξης
Ισορροπία	Τριβή