

ΦΥΣΙΚΗ

Γ' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ

2ος τόμος

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ

Νικόλαος Αντωνίου, *Καθηγητής Πανεπιστημίου Αθηνών*
Παναγιώτης Δημητριάδης, *Φυσικός Εκπαιδευτικός*

Β/θμιας Εκπ/σης

Κων/νος Καμπούρης, *Φυσικός Εκπαιδευτικός Β/θμιας*

Εκπ/σης

Κων/νος Παπαμιχάλης, *Φυσικός Εκπαιδευτικός Β/θμιας*

Εκπ/σης

Λαμπρινή Παπατσίμπα, *Φυσικός Εκπαιδευτικός*

Β/θμιας Εκπ/σης

ΚΡΙΤΕΣ-ΑΞΙΟΛΟΓΗΤΕΣ

Κωνσταντίνος Κρίκος, *Σχολικός Σύμβουλος*

Πέτρος Περσεφόνης, *Αναπληρωτής Καθηγητής*

Πανεπιστημίου Πατρών(Τμήμα Φυσικής)

Γεώργιος Τουντουλίδης, *Φυσικός, Εκπαιδευτικός*

Β/θμιας Εκπ/σης

ΕΙΚΟΝΟΓΡΑΦΗΣΗ

Θεόφιλος Χατζητσομπάνης, *Μηχανικός ΕΜΠ,*

Εκπαιδευτικός

ΦΙΛΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ

Βασιλική Αναστασοπούλου, *Φιλολόγος*

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ

ΚΑΙ ΤΟΥ ΥΠΟΕΡΓΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΓΓΡΑΦΗ

Γεώργιος Κ. Παληός, *Σύμβουλος του Π.Ι.*

ΕΞΩΦΥΛΛΟ

Καραβούζης Σαράντης, *Ζωγράφος*

ΠΡΟΕΚΤΥΠΩΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

ΑΦΟΙ Ν. ΠΑΠΠΑ & ΣΙΑ Α.Ε.Β.Ε.,

Ανώνυμος Εκδοτ. & Εκτυπ. Εταιρεία

**ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ,
ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ
ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ**

**Νικόλαος Αντωνίου
Παναγιώτης Δημητριάδης
Κωνσταντίνος Καμπούρης
Κωνσταντίνος Παπαμιχάλης
Λαμπρινή Παπατσιμπα**

ΑΝΑΔΟΧΟΣ ΣΥΓΓΡΑΦΗΣ:

Ελληνικά Γράμματα

ΦΥΣΙΚΗ

Γ΄ ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ

Τόμος 2ος

**Γ' Κ.Π.Σ. / ΕΠΕΑΕΚ II / Ενέργεια 2.2.1 / Κατηγορία
Πράξεων 2.2.1.α: «Αναμόρφωση των προγραμμάτων
σπουδών και συγγραφή νέων εκπαιδευτικών πακέτων»**

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

Δημήτριος Γ. Βλάχος Ομότιμος Καθηγητής του Α.Π.Θ
Πρόεδρος του Παιδαγωγ. Ινστιτούτου

Πράξη με τίτλο: «Συγγραφή νέων βιβλίων και παραγωγή υποστηρικτικού εκπαιδευτικού υλικού με βάση το ΔΕΠΠΣ και τα ΑΠΣ για το Γυμνάσιο»

Επιστημονικός Υπεύθυνος Έργου

Αντώνιος Σ. Μπομπέτσης

Σύμβουλος του Παιδαγωγ. Ινστιτούτου

Αναπληρωτής Επιστημ. Υπεύθ. Έργου

Γεώργιος Κ. Παληός

Σύμβουλος του Παιδαγωγ. Ινστιτούτου **Ιγνάτιος Ε.**

Χατζηευστρατίου *Μόνιμος Πάρεδρος του Παιδαγ. Ινστιτ.*

Έργο συγχρηματοδοτούμενο 75% από το Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο και 25% από εθνικούς πόρους.

ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΒΙΒΛΙΟΥ

ΓΙΑ ΜΑΘΗΤΕΣ ΜΕ ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΟΡΑΣΗ

*Ομάδα Εργασίας Υπουργείου Παιδείας, Δια Βίου
Μάθησης και Θρησκευμάτων*

μια μικρή ιστορία...

Μια κρύα μέρα του Ιανουαρίου του 2006, η Σοφία πληροφορήθηκε από την τηλεόραση ότι στην Κεφαλονιά, όπου ζούσε η γιαγιά της, προκλήθηκαν μεγάλες καταστροφές από μια σφοδρή καταιγίδα. Ο δημοσιογράφος που έκανε το ρεπορτάζ, ανέφερε ότι μετά από σφοδρή και παρατεταμένη καταιγίδα πέντε πυλώνες της ΔΕΗ που μετέφεραν ηλεκτρική ενέργεια στην Κεφαλονιά κατέρρευσαν. Οι πυλώνες ήταν συνδεδεμένοι με υποβρύχιο καλώδιο, το οποίο παρείχε ενέργεια από την Κυλλήνη μέσω της Ζακύνθου. Για αρκετές μέρες το νησί παρέμεινε χωρίς ηλεκτρικό ρεύμα. Οι κάτοικοι βρέθηκαν σε πολύ δύσκολη θέση. Δεν μπορούσαν να θερμάνουν τα σπίτια τους, να μαγειρέψουν, να συντηρήσουν τα τρόφιμά τους, να δουν τηλεόραση κλπ.

Η Σοφία σκέφτηκε πόσο σπουδαίο είναι το ηλεκτρικό ρεύμα και πόσο πολύ εξαρτάται η ζωή μας από αυτό. Αναρωτήθηκε πως είναι δυνατόν το ηλεκτρικό ρεύμα να προκαλεί τη λειτουργία σε τόσες πολλές, αλλά και τόσο διαφορετικές μεταξύ τους συσκευές, που χρησιμοποιούμε καθημερινά.



Στο κεφάλαιο αυτό:

- Θα συσχετίσεις το ηλεκτρικό ρεύμα με τη μεταφορά και τις μετατροπές της ενέργειας.
- Θα μελετήσεις τα θερμικά φαινόμενα που προκαλούνται κατά τη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος από έναν αντιστάτη και θα γνωρίσεις τις εφαρμογές τους.
- Θα μάθεις ότι τα ηλεκτρικά και τα μαγνητικά φαινόμενα είναι αλληλένδετα και πως εφαρμόζουμε τους νόμους του ηλεκτρομαγνητισμού για να μετατρέψουμε την ηλεκτρική ενέργεια σε κινητική και το αντίστροφο.
- Θα μάθεις να υπολογίζεις την ηλεκτρική ενέργεια και την ισχύ που μια ηλεκτρική συσκευή μετασχηματίζει σε άλλες μορφές ενέργειας.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΖΩΗ

Κάθε μέρα κλείνεις ένα διακόπτη για να θέσεις σε λειτουργία ένα λαμπτήρα, το ραδιόφωνο ή την τηλεόραση, χειρίζεσαι έναν ανελκυστήρα ή βλέπεις να γυρίζει κάποιος το κλειδί για να αρχίσει να λειτουργεί η μηχανή του αυτοκινήτου. Σε καθεμιά από τις παραπάνω περιπτώσεις ένα ανοικτό ηλεκτρικό κύκλωμα μετατρέπεται σε κλειστό, οπότε διέρχεται από αυτό ηλεκτρικό ρεύμα που μεταφέρει ενέργεια.

Από όλες τις μορφές ενέργειας αυτή που επηρέασε περισσότερο το σύγχρονο πολιτισμό είναι η ηλεκτρική ενέργεια. Τα σπουδαιότερα χαρακτηριστικά της ηλεκτρικής ενέργειας είναι η εύκολη μεταφορά της σε μεγάλες αποστάσεις και η μετατροπή της σε άλλες μορφές ενέργειας.

Εικόνα 3.1

Το ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει αγωγούς μήκους πολλών χιλιομέτρων και μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από τους τόπους «παραγωγής» στους τόπους «κατανάλωσης».



Τα μεγάλα αποθέματα της ενέργειας που υπάρχουν στη φύση, όπως στους ποταμούς (δυναμική) ή στα κοιτάσματα λιγνίτη (χημική), βρίσκονται εκατοντάδες χιλιο-

μετρα μακριά από τις πόλεις. Η χρησιμότητά τους για τα αστικά κέντρα και τα εργοστάσια θα ήταν αμελητέα αν δεν ήταν δυνατή η μετατροπή και η εύκολη μεταφορά αυτής της ενέργειας. Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας επιτυγχάνεται με το ηλεκτρικό ρεύμα που διαρρέει ένα κλειστό ηλεκτρικό κύκλωμα (εικόνα 3.1).

Στις ηλεκτρικές συσκευές (καταναλωτές) η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε άλλες μορφές ενέργειας, όπως θερμική, χημική, μηχανική, ενέργεια μαγνητικού πεδίου. Ανάλογα με τη μορφή ενέργειας στην οποία μετατρέπεται η ηλεκτρική τα αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος διακρίνονται σε θερμικά, χημικά, μηχανικά, φωτεινά, μαγνητικά κ.λπ. Σε αυτό το κεφάλαιο θα μελετήσουμε τα αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος σε σύνδεση με τις αντίστοιχες ενεργειακές μετατροπές.

3.1 Θερμικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος

Κάθε συσκευή από την οποία διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα θερμαίνεται.

Όταν ένας κοινός λαμπτήρας πυρακτώσεως λειτουργεί για αρκετό χρόνο θερμαίνεται. Αν θέσουμε σε λειτουργία μια ηλεκτρική κουζίνα, τότε η εστία της θερμαίνεται. Οι ηλεκτρικές θερμάστρες, οι κουζίνες και οι θερμοσίφωνες θερμαίνονται, όταν από τους αντιστάτες τους διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα (εικόνα 3.2).

Γενικά, όταν από έναν αντιστάτη διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα, η θερμοκρασία του αυξάνεται. Το φαινόμενο αυτό το μελέτησε πρώτος ο Άγγλος φυσικός Τζάουλ (Joule), και γι' αυτό ονομάζεται «φαινόμενο Τζάουλ». Γνωρίζουμε ότι αύξηση της θερμοκρασίας του αντιστάτη συνδέεται με αύξηση της θερμικής του ενέργειας. Επιπλέον όταν η θερμοκρασία του αντιστάτη γίνεται

μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος του, ενέργεια (θερμότητα) θα μεταφέρεται από τον αντιστάτη σε αυτό (εικόνα 3.3). Αν όλη η επιπλέον (ηλεκτρική) ενέργεια μεταφέρεται στο περιβάλλον, τότε η θερμοκρασία του αντιστάτη διατηρείται σταθερή. Η ενέργεια δεν παράγεται από το μηδέν. Μετατρέπεται από τη μια μορφή στην άλλη, έτσι ώστε η συνολική ποσότητά της να διατηρείται σταθερή.

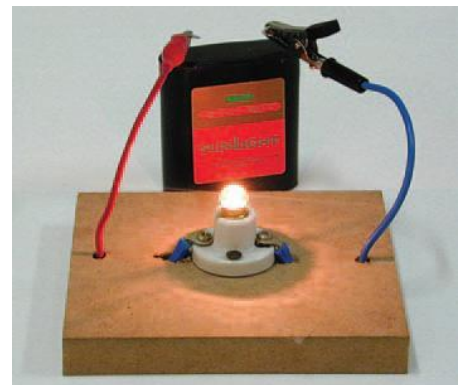
Εικόνα 3.2

Όταν από τις ηλεκτρικές συσκευές διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα, θερμαίνονται.



Εικόνα 3.3

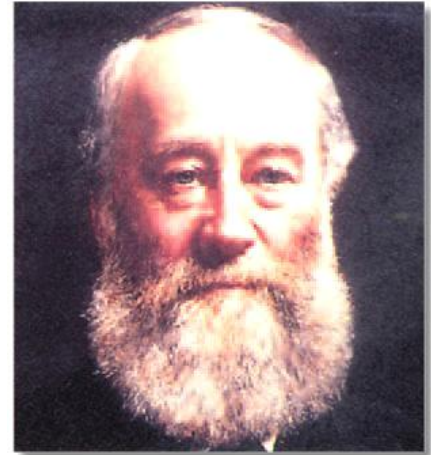
Όσο χρόνο από το λαμπάκι διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα, μεταφέρεται θερμότητα από αυτό προς το περιβάλλον του.



Από πού προέρχεται η θερμότητα που μεταφέρεται από τον αντιστάτη στο περιβάλλον;

Είδαμε προηγούμενα ότι η θερμική ενέργεια ενός αντιστάτη αυξάνεται, όταν από αυτόν διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα. Είναι φανερό ότι η προέλευση αυτής της ενέργειας συνδέεται με την ενέργεια που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα την οποία ονομάσαμε ηλεκτρική ενέργεια. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι στον αντιστάτη ηλε-

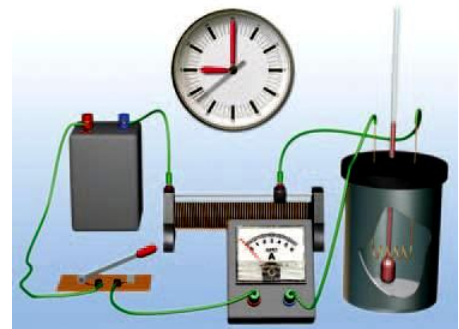
κτρική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική. Επομένως η θερμότητα που μεταφέρεται από τον αντιστάτη στο περιβάλλον του προέρχεται από την ηλεκτρική ενέργεια.



Εικόνα 3.4

Τζέιμς Τζάουλ (Joule, 1818-1889)

Άγγλος φυσικός, ζυθοποιός στο επάγγελμα. Ασχολήθηκε με έρευνες που αφορούσαν την ενέργεια και τις μετατροπές της. Με τα περίφημα πειράματά του έδειξε ότι σε κάθε μεταβολή η ολική ενέργεια διατηρείται σταθερή.



Εικόνα 3.5

Πειραματική διάταξη για τη μελέτη του φαινομένου Τζάουλ.

Πειραματική μελέτη του φαινομένου Τζάουλ

Με τη βοήθεια του πειράματος θα μελετήσουμε τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται από έναν αντιστάτη στο περιβάλλον του. Γι' αυτό το λόγο σε δοχείο με θερμικά μονωμένα τοιχώματα προσθέτουμε νερό μάζας m . Στο νερό βυθίζουμε αντιστάτη R τα άκρα του οποίου τα συνδέουμε με ηλεκτρική πηγή (εικόνα 3.5). Κλείνουμε το διακόπτη, οπότε δημιουργείται ένα κλειστό κύκλωμα και από τον αντιστάτη διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα.

Αρχικά η θερμοκρασία του αντιστάτη είναι ίση με τη θερμοκρασία του νερού. Όταν από τον αντιστάτη διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα, η θερμοκρασία του αυξάνεται και γίνεται μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του νερού. Τότε θερμότητα μεταφέρεται από τον αντιστάτη στο νερό και η θερμοκρασία του αυξάνεται.

Πώς μπορούμε να υπολογίσουμε την ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται στο νερό;

Γνωρίζουμε ότι η ποσότητα θερμότητας (Q) που μεταφέρεται σ' ένα σώμα για ορισμένο χρονικό διάστημα (t) συνδέεται με τη μάζα (m) του σώματος και τη μεταβολή της θερμοκρασίας του ($\Delta\theta$). Μπορούμε να υπολογίσουμε την παραπάνω ποσότητα με τη βοήθεια της εξίσωσης της θερμιδομετρίας:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta\theta$$

όπου $c = 4.200 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}$ (ειδική θερμότητα του νερού),

m η μάζα του νερού σε kg και $\Delta\theta$ η μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού ($^\circ\text{C}$). Την άνοδο της θερμοκρασίας του νερού τη μετράμε με τη βοήθεια ενός θερμόμετρου. Στη συνέχεια θα προσπαθήσουμε να απαντήσουμε στα παρακάτω ερωτήματα:

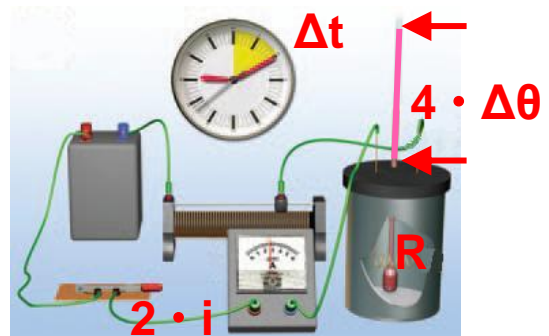
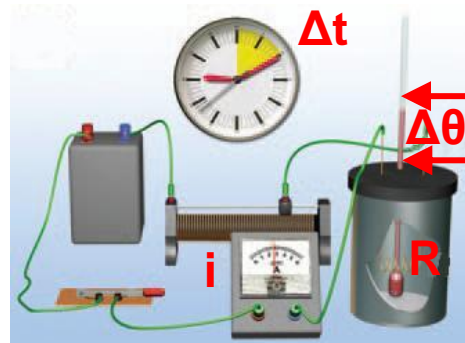
I. Με ποιο τρόπο σχετίζεται η ποσότητα θερμότητας που μεταφέρεται από έναν αντιστάτη με την ένταση του ρεύματος που τον διαρρέει;

Διατηρώντας το χρονικό διάστημα Δt σταθερό και χρησιμοποιώντας πάντα τον ίδιο αντιστάτη R καταγράφουμε τη μεταβολή της θερμοκρασίας ($\Delta\theta$) του νερού για διάφορες τιμές της έντασης του ρεύματος I που διαρρέει τον αντιστάτη (πίνακας 3.1Α). Την ένταση του ρεύματος I τη ρυθμίζουμε με τη βοήθεια ενός ροοστάτη

(εικόνα 3.6). Από τα πειραματικά δεδομένα που προκύπτουν διαπιστώνουμε ότι:

Όταν διπλασιάζουμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη ($2 \cdot I$), η ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται από αυτόν τετραπλασιάζεται ($4 \cdot Q = 2^2 \cdot Q$). Όταν την τριπλασιάζουμε ($3 \cdot I$), το ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται εννιάπλασιάζεται ($9 \cdot Q = 3^2 \cdot Q$) κ.ο.κ.

Εικόνα 3.6
Όταν από τον αντιστάτη διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα διπλάσιας έντασης μεταφέρεται στο νερό τετραπλάσια ποσότητα θερμότητας προκαλώντας αντίστοιχη αύξηση της θερμοκρασίας του.



Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η ποσότητα της θερμότητας (Q) που μεταφέρεται από έναν αντιστάτη είναι ανάλογη του τετραγώνου της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διέρχεται από αυτόν.

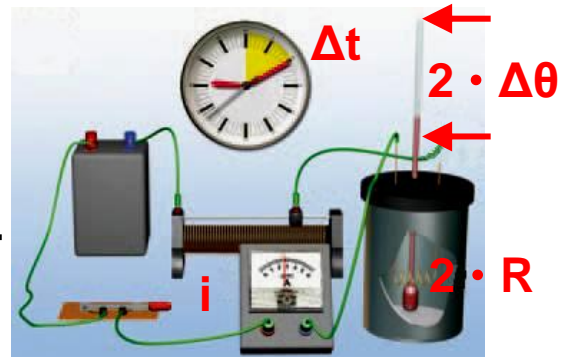
II. Πώς μεταβάλλεται η ποσότητα θερμότητας που μεταφέρεται από έναν αντιστάτη σε συνάρτηση με την αντίστασή του, αν διατηρήσουμε το χρόνο διέλευσης και την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος σταθερά;

III. Πώς μεταβάλλεται η ποσότητα θερμότητας που μεταφέρεται από έναν αντιστάτη σε συνάρτηση με το

χρόνο διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος από αυτόν, όταν διατηρούμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος και την αντίσταση σταθερά;

Εικόνα 3.7

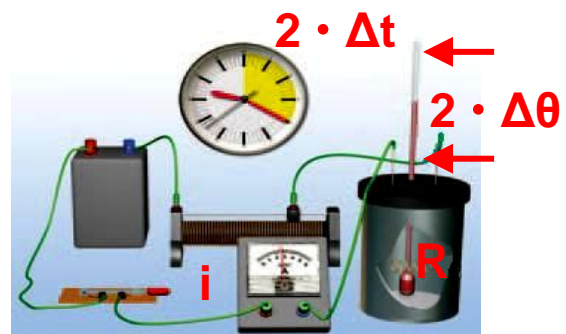
Από τον αντιστάτη διπλάσιας αντίστασης, από τον οποίο διέρχεται ρεύμα ίδιας έντασης στο ίδιο χρονικό διάστημα, μεταφέρεται στο νερό διπλάσια ποσότητα θερμότητας.



Χρησιμοποιώντας αντιστάτες με διαφορετική τιμή αντίστασης ή μεταβάλλοντας το χρονικό διάστημα της μέτρησης μπορούμε να πραγματοποιήσουμε πειράματα (εικόνες 3.7, 3.8). Καταγράφουμε τη μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού (πίνακας 3.1Β και 3.1Γ). Τα πειραματικά δεδομένα που προκύπτουν μας οδηγούν σε δύο αντίστοιχα συμπεράσματα:

Εικόνα 3.8

Όταν από τον αντιστάτη διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα σταθερής έντασης για διπλάσιο χρονικό διάστημα, το ποσό της θερμότητας που μεταφέρεται από τον αντιστάτη στο νερό διπλασιάζεται.



Όταν ο χρόνος διέλευσης και η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος διατηρούνται σταθερά, η ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται από έναν αντιστάτη

είναι ανάλογη της αντίστασής του (εικόνα 3.7, πίνακας 3.1B).

Σε έναν αντιστάτη με σταθερή αντίσταση και όταν η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που τον διαρρέει διατηρείται σταθερή η ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται από αυτόν είναι ανάλογη του χρόνου διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος (εικόνα 3.8, πίνακας 3.1Γ).

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1	
3.1 Α ΣΤΑΘΕΡΟ R, Δt	
Ένταση ρεύματος	Μεταβολή θερμοκρασίας
I	Δθ
2 · I	4 · Δθ
3.1 Β ΣΤΑΘΕΡΟ I, Δt	
Αντίσταση	Μεταβολή θερμοκρασίας
R	Δθ
2 · R	2 · Δθ
3.1 Γ ΣΤΑΘΕΡΟ I, R	
Χρονικό Διάστημα	Μεταβολή θερμοκρασίας
Δt	Δθ
2 · Δt	2 · Δθ

Νόμος του Τζάουλ

Αν συνοψίσουμε τα συμπεράσματα που διαμορφώσαμε από όλες τις πειραματικές δραστηριότητες που περιγράψαμε, καταλήγουμε σ' ένα φυσικό νόμο ο οποίος αρχικά διατυπώθηκε από τον Τζάουλ και γι' αυτό ονομάστηκε **νόμος του Τζάουλ**:

Η μεταβολή της θερμικής ενέργειας ενός αντιστάτη αντίστασης R , όταν από αυτόν διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα σταθερής έντασης I και επομένως η ποσότητα της θερμότητας Q που μεταφέρεται από αυτόν προς το περιβάλλον σε χρονικό διάστημα t είναι:

α. ανάλογη του τετραγώνου της έντασης I του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη,

β. ανάλογη της αντίστασης R του αντιστάτη,

γ. ανάλογη του χρόνου t διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος από τον αντιστάτη.

Με ποια μαθηματική σχέση συνδέονται τα παραπάνω φυσικά μεγέθη: θερμότητα που μεταφέρεται από τον αντιστάτη στο περιβάλλον (Q), ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη (I), αντίσταση (R) και χρόνος (t);

Για να απαντήσουμε θα πρέπει να σκεφτούμε την προέλευση της παραπάνω ποσότητας θερμότητας. Είδαμε προηγουμένως ότι αυτή προέρχεται από την ηλεκτρική ενέργεια που μεταφέρουν τα ηλεκτρόνια στον αντιστάτη η οποία σύμφωνα με την 2.3 δίδεται από τη σχέση:

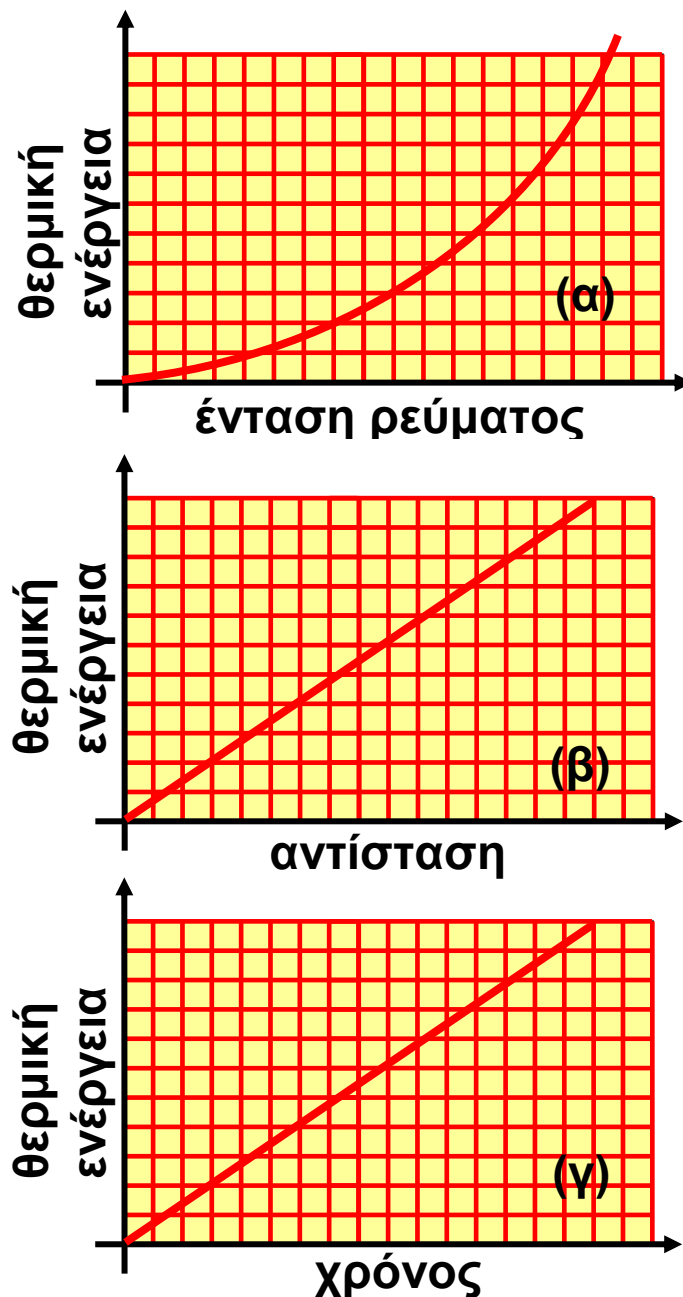
$$E_{\text{ηλεκτρική}} = V \cdot q \quad (3.1)$$

Αν υποθέσουμε ότι τελικά η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται με μορφή θερμότητας στο περιβάλλον, θα ισχύει $Q = E_{\text{ηλεκτρική}}$, και λαμβάνοντας υπόψη το νόμο του Ωμ και τον ορισμό της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος η σχέση 3.1 μετασχηματίζεται σε:

$$Q = (I \cdot R) \cdot (I \cdot t) \quad \text{ή} \quad Q = I^2 \cdot R \cdot t \quad (3.2)$$

όπου όλα τα μεγέθη μετριοούνται σε μονάδες του S.I., δηλαδή η θερμότητα Q σε J (Τζάουλ), η ένταση του ρεύματος I σε A, η αντίσταση R σε Ω και ο χρόνος t σε s.

Στην εικόνα 3.9 παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις της μεταβολής της θερμικής ενέργειας σε συνάρτηση με τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται.



Εικόνα 3.9

Γραφικές παραστάσεις της μεταβολής της θερμικής ενέργειας αντιστάτη σε συνάρτηση με (α) την ένταση του ρεύματος, (β) την αντίσταση και (γ) το χρόνο διέλευσης του ρεύματος.

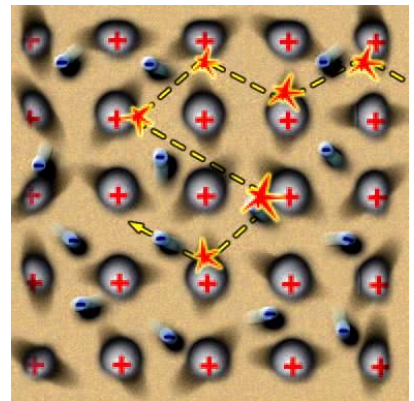
Ερμηνεία του φαινομένου Τζάουλ

Πώς θα ερμηνεύσουμε τη μεταβολή της θερμοκρασίας ενός μεταλλικού αγωγού από τον οποίο διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα; Με ποιο μηχανισμό η ενέργεια του ηλεκτρικού ρεύματος που διέρχεται από τον αγωγό μετατρέπεται σε θερμική και μεταφέρεται στο περιβάλλον του;

Για να ερμηνεύσουμε το φαινόμενο Τζάουλ, θα χρησιμοποιήσουμε την εικόνα που έχουμε διαμορφώσει για τη δομή της ύλης και ειδικότερα για το μικρόκοσμο ενός μεταλλικού αγωγού:

Εικόνα 3.10

Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια συγκρούονται με τα ιόντα. Ενέργεια μεταφέρεται από τα ηλεκτρόνια στα ιόντα. Αυξάνεται η κινητική ενέργεια των ιόντων του σύρματος με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμικής ενέργειας και της θερμοκρασίας του υλικού.



Ο μεταλλικός αγωγός (για παράδειγμα ένα σύρμα από χαλκό) αποτελείται από ένα πλέγμα ιόντων χαλκού που κάνουν μικρές ταλαντώσεις σε τυχαίες διευθύνσεις γύρω από συγκεκριμένες θέσεις (άτακτη κίνηση) (εικόνα 3.10). Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του μετάλλου κινούνται τυχαία προς κάθε κατεύθυνση σε όλη την έκταση του σύρματος. Κατά την κίνησή τους αλληλεπιδρούν συχνά με κάποια από τα ιόντα.

Η θερμοκρασία του μετάλλου σχετίζεται με την κινητική ενέργεια κυρίως των ιόντων του, λόγω της άτακτης κίνησής τους. Στο κεφάλαιο της θερμότητας τη συνολική αυτή ενέργεια την ονομάσαμε θερμική ενέργεια του μετάλλου. Όσο πιο έντονη είναι η άτακτη κίνηση

των ιόντων, τόσο μεγαλύτερη είναι και η θερμική ενέργεια και η θερμοκρασία του μετάλλου.

Το ηλεκτρικό ρεύμα συνδέεται με την προσανατολισμένη κίνηση των ηλεκτρονίων κατά μήκος του σύρματος. Όταν τα άκρα του σύρματος συνδέονται με τους πόλους ηλεκτρικής πηγής, τότε στο εσωτερικό του δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο που ασκεί στα ελεύθερα ηλεκτρόνια ηλεκτρικές δυνάμεις. Αυτές οι δυνάμεις τα αναγκάζουν, εκτός από την άτακτη κίνησή τους, να μετατοπίζονται και κατά μήκος του σύρματος και επιπλέον προκαλούν και αύξηση της κινητικής τους ενέργειας.

Καθώς τα ηλεκτρόνια κινούνται, αλληλεπιδρούν με κάποια από τα ιόντα του πλέγματος. Τότε, όπως συμβαίνει και με δύο μπάλες του μπιλιάρδου, ένα μέρος της κινητικής ενέργειας των ηλεκτρονίων μεταφέρεται στα ιόντα, με αποτέλεσμα η άτακτη κίνηση (ταλάντωση) των ιόντων να γίνεται εντονότερη. Ταυτόχρονα οι δυνάμεις του ηλεκτρικού πεδίου προκαλούν εκ νέου αύξηση της ταχύτητας των ελεύθερων ηλεκτρονίων και αναπληρώνουν την απώλεια της κινητικής τους ενέργειας. Έτσι συνολικά η άτακτη κίνηση των σωματιδίων του υλικού γίνεται εντονότερη. Η θερμική ενέργεια και η θερμοκρασία του αυξάνονται.

Η αύξηση της θερμοκρασίας του μετάλλου σε σχέση με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος του έχει ως αποτέλεσμα τη μεταφορά θερμότητας από το σύρμα προς το περιβάλλον του. Τη θερμότητα αυτή μετρήσαμε στο σχετικό πείραμα που παριστάνεται στην εικόνα 3.5 κατά τη μελέτη του φαινομένου Τζάουλ.

Εφαρμογές του φαινομένου Τζάουλ

Η λειτουργία πολλών συσκευών τις οποίες χρησιμοποιούμε στην καθημερινή μας ζωή βασίζεται στο φαι-

νόμενο Τζάουλ. Μερικές από αυτές παρουσιάζονται στη συνέχεια:

1. Λαμπτήρας πυρακτώσεως

Αν η θερμοκρασία ενός μεταλλικού σύρματος αυξηθεί αρκετά, τότε το σύρμα φωτοβολεί. Ένα μέρος της θερμικής ενέργειας μετατρέπεται σε φωτεινή. Στο παραπάνω φαινόμενο, σε συνδυασμό με το φαινόμενο Τζάουλ, στηρίζεται η κατασκευή των λαμπτήρων πυρακτώσεως.



Εικόνα 3.11
Τομή λαμπτήρα πυρακτώσεως.

Στα άκρα ενός μεταλλικού σύρματος εφαρμόζουμε κατάλληλη τάση έτσι ώστε το ηλεκτρικό ρεύμα που διέρχεται από αυτό να προκαλεί τέτοια αύξηση στην τιμή της θερμοκρασίας του σύρματος ώστε αυτό να φωτοβολεί. Η θερμοκρασία του σύρματος ανεβαίνει σε αρκετά υψηλή τιμή (περίπου στους 2.000°C) ώστε μπορεί να προκαλέσει την τήξη του μετάλλου. Γι' αυτό το σύρμα κατασκευάζεται από δύστηκτα μέταλλα, όπως το βολφράμιο. Επιπλέον οι τόσο υψηλές θερμοκρασίες του υλικού του σύρματος έχουν ως αποτέλεσμα αυτό να οξειδώνεται, δηλαδή να αντιδρά χημικά με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας, με αποτέλεσμα να διαλύεται. Για να αποφύγουμε τέτοιες ανεπιθύμητες χημικές αντιδράσεις, τοποθετούμε το σύρμα σε χώρο όπου υπάρχει αδρανές αέριο ή σε χώρο κενό από αέρα που περιβάλλεται από γυάλινο περίβλημα (εικόνα 3.11).

Εικόνα 3.12
Στην ηλεκτρική κουζίνα η ενέργεια του ηλεκτρικού ρεύματος μετατρέπεται σε θερμική.



2. Ηλεκτρική κουζίνα και ηλεκτρικός θερμοσίφωνας

Η ηλεκτρική κουζίνα ή ο ηλεκτρικός θερμοσίφωνας αποτελούνται από έναν ή περισσότερους αντιστάτες (εικόνες 3.12, 3.13). Όταν από αυτούς διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα, θερμότητα μεταφέρεται προς το μαγειρικό σκεύος ή το νερό αντίστοιχα.

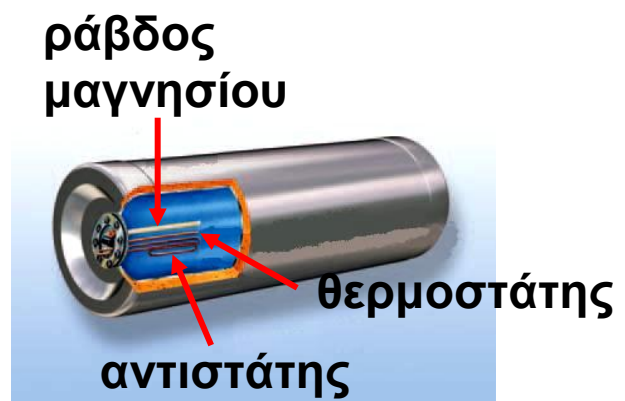
3. Τηκόμενη ασφάλεια

Είναι πιθανό, λόγω βλάβης μιας συσκευής ή από ένα τυχαίο γεγονός, οι δύο πόλοι μιας ηλεκτρικής πηγής να συνδεθούν μεταξύ τους με αγωγό πολύ μικρής αντίστασης. Μια τέτοια σύνδεση συχνά ονομάζεται **βραχυκύκλωμα**. Τότε, σύμφωνα με το νόμο του Ωμ

$I = \frac{V}{R}$ και αφού η αντίσταση (R) του αγωγού είναι πολύ μικρή, η ένταση (I) του ηλεκτρικού ρεύματος που θα περάσει απ' αυτόν θα είναι πολύ μεγάλη.

Εικόνα 3.13

Σχηματική τομή ενός ηλεκτρικού θερμοσίφωνα. Η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια στον αντιστάτη. Η θερμοκρασία του ανεβαίνει, με αποτέλεσμα από αυτόν να μεταφέρεται θερμότητα προς το νερό.



Εικόνα 3.14

Η τηκόμενη ασφάλεια είναι ένας αντιστάτης που συνδέεται σε σειρά με τη συσκευή που θέλουμε να προστατεύσουμε. Όταν η ένταση του ρεύματος ξεπεράσει μια ορισμένη τιμή, ο αντιστάτης λειώνει και το ηλεκτρικό ρεύμα διακόπτεται.



Γνωρίζουμε όμως ότι η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που μετατρέπεται σε θερμική σ' έναν αγωγό είναι ανάλογη του τετραγώνου της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διέρχεται από αυτόν (νόμος του Τζάουλ). Είναι επομένως πολύ πιθανό η θερμοκρασία των εσωτερικών αγωγών της συσκευής να ανέβει τόσο πολύ ώστε να προκληθεί τήξη τους και καταστροφή της συσκευής.

Για να προστατέψουμε τις συσκευές από ένα τέτοιο ενδεχόμενο, χρησιμοποιούμε τις ηλεκτρικές ασφάλειες. Υπάρχουν πολλών ειδών ηλεκτρικές ασφάλειες που έχουν διαφορετικές αρχές λειτουργίας. Η λειτουργία των τηκόμενων ασφαλειών στηρίζεται στο φαινόμενο Τζάουλ και η κατασκευή τους είναι εξαιρετικά απλή: αποτελούνται από έναν αντιστάτη κατασκευασμένο από εύτηκτο μέταλλο. Όταν η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διέρχεται από αυτόν ξεπεράσει μια ορισμένη τιμή, η άνοδος της θερμοκρασίας του προκαλεί την τήξη του μετάλλου. Έτσι το κύκλωμα ανοίγει και το ηλεκτρικό ρεύμα διακόπτεται (εικόνα 3.14).

Η σύνδεση της ασφάλειας στο κύκλωμα γίνεται πάντοτε σε σειρά με τη συσκευή που θέλουμε να προστατέψουμε. Σε κάθε ασφάλεια αναφέρεται η μέγιστη τιμή της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που μπορεί

να τη διαρρέει, χωρίς να προκληθεί τήξη του αντιστάτη που περιέχει.

Δραστηριότητα

Βραχυκύκλωμα

- ▶ Από ένα σφουγγαράκι για κατσαρόλες με ατσαλό-συρμα ξεχώρισε δύο σύρματα.
- ▶ Ένωσε τους πόλους μιας μπαταρίας 4,5 V με αυτά.
- ▶ Τι παρατηρείς και πώς το ερμηνεύεις;

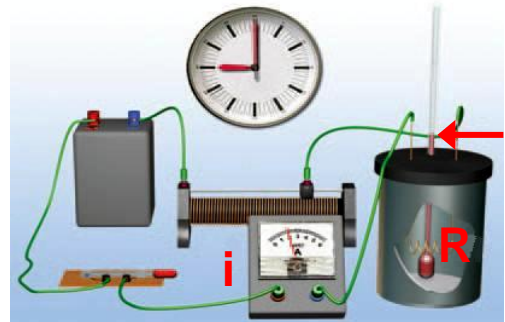
Παράδειγμα 3.1

Πραγματοποίησε τη διάταξη της διπλανής εικόνας. Στο δοχείο με τα θερμικά μονωμένα τοιχώματα, ρίξε νερό μάζας $m = 0,2 \text{ kg}$.

Στο νερό βύθισε έναν αντιστάτη αντίστασης $R = 8,4 \Omega$. Κλείσε το

διακόπτη και κατάγραψε την ένδειξη του αμπερόμετρου: $I = 2 \text{ A}$. Τη χρονική στιγμή $t = 0$, η ένδειξη του θερμόμετρου είναι 18°C . Μπορείς να προβλέψεις την ένδειξη του θερμόμετρου τη χρονική στιγμή $t = 2 \text{ min}$;

Η ειδική θερμότητα του νερού είναι: $c = 4.200 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot ^\circ \text{C}}$



Δεδομένα

Μάζα νερού: $m = 0,2 \text{ Kg}$

Αντίσταση αντιστάτη: $R = 8,4 \Omega$.

Ένταση ρεύματος: $I = 2 \text{ A}$

Χρονική διάρκεια θέρμανσης νερού: $t = 2 \text{ min}$

Ειδική θερμότητα του νερού: $c = 4.200 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot ^\circ \text{C}}$

Αρχική θερμοκρασία νερού: $\theta_1 = 18^\circ \text{C}$

Ζητούμενα

Τελική θερμοκρασία νερού: θ_2

Βασικές εξισώσεις

Νόμος θερμιδομετρίας:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta\theta$$

Νόμος του Joule: $Q = I^2 \cdot R \cdot t$

Λύση

Βήμα 1: Περιγραφή της διαδικασίας: Η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται στον αντιστάτη σε θερμική και στη συνέχεια μεταφέρεται στο νερό με τη μορφή θερμότητας και προκαλεί μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού:

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1.$$

Βήμα 2: Εφαρμογή των νόμων που περιγράφουν τη διαδικασία:

$$\text{Νόμος του Joule: } Q = I^2 \cdot R \cdot t \quad \text{ή} \quad Q = 2^2 \cdot 8,4 \cdot 120 \text{ J} \quad \text{ή} \\ Q = 4.032 \text{ J}$$

Εξίσωση της θερμιδομετρίας: $Q = c \cdot m \cdot \Delta\theta,$

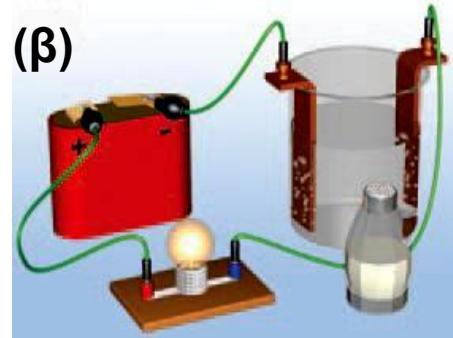
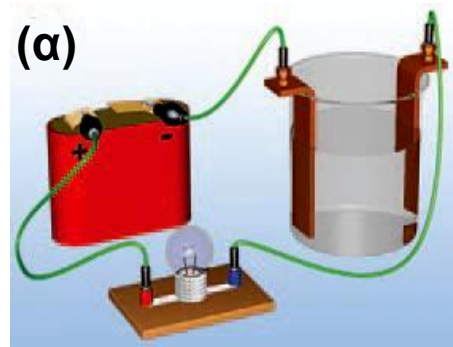
$$\Delta\theta = \frac{Q}{c \cdot m}, \quad \Delta\theta = \frac{4032}{4200 \cdot 0,2} \text{ } ^\circ\text{C} = 4,8 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad \Delta\theta = 4,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ώστε η τελική θερμοκρασία του νερού είναι: $\theta_2 = \theta_1 + \Delta\theta$
ή $\theta_2 = 18 \text{ } ^\circ\text{C} + 4,8 \text{ } ^\circ\text{C}$ ή $\theta_2 = 22,8 \text{ } ^\circ\text{C}$

3.2 Χημικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος

Είδαμε ότι, όταν το ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται από μεταλλικούς αγωγούς, προκαλεί θερμικά αποτελέσματα. Ας εξετάσουμε τι συμβαίνει σ' ένα υγρό.

Αυτό μπορούμε να το διαπιστώσουμε εύκολα. Συνδέουμε μια μπαταρία με ένα λαμπάκι έτσι ώστε το λαμπάκι να ανάβει. Κατόπιν σε κάποιο σημείο κόβουμε



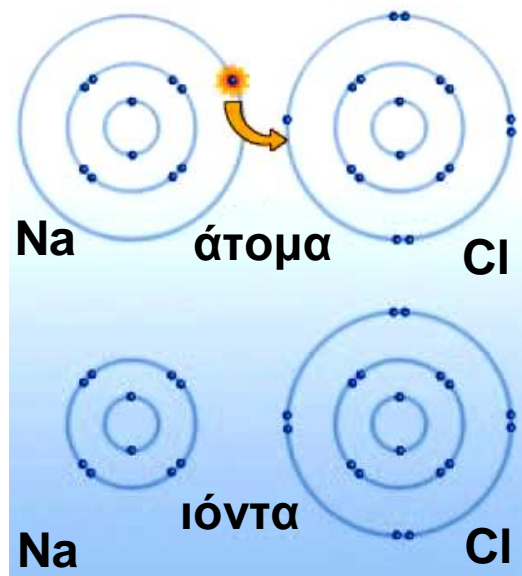
Εικόνα 3.15

(α) Το καθαρό νερό δεν είναι αγωγός. (β) Αντίθετα το διάλυμα του χλωριούχου νατρίου (αλάτι) επιτρέπει τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος.

το σύρμα σύνδεσης και βυθίζουμε τα ελεύθερα άκρα του σε ένα δοχείο με καθαρό νερό. Τα άκρα που συνδέονται με το θετικό και τον αρνητικό πόλο της πηγής λέγονται θετικό και αρνητικό ηλεκτρόδιο αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι το λαμπάκι δεν ανάβει. Συμπεραίνουμε ότι το καθαρό νερό δεν είναι αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος. Αν διαλύσουμε αλάτι σε νερό και επαναλάβουμε το προηγούμενο πείραμα, παρατηρούμε ότι το λαμπάκι ανάβει (εικόνα 3.15). Την ίδια συμπεριφορά παρουσιάζουν τα υδατικά διαλύματα ουσιών που ονομάζονται ηλεκτρολύτες και συνήθως είναι οξέα, βάσεις και άλατα. Τα διαλύματα αυτά ονομάζονται και ηλεκτρολυτικά.

Γιατί τα ηλεκτρολυτικά διαλύματα είναι αγωγοί

Όταν δύο άτομα πλησιάσουν αρκετά μεταξύ τους, είναι δυνατόν ηλεκτρόνια της εξωτερικής τροχιάς του ενός να μετακινηθούν στην εξωτερική τροχιά του άλλου (εικόνα 3.16). Τότε το ένα άτομο μετατρέπεται σε θετικό ιόν και το άλλο σε αρνητικό. Μεταξύ των ιόντων αναπτύσσεται ισχυρή ηλεκτρική ελκτική δύναμη. Με αυτό τον τρόπο ιόντα νατρίου και χλωρίου συγκρατούνται



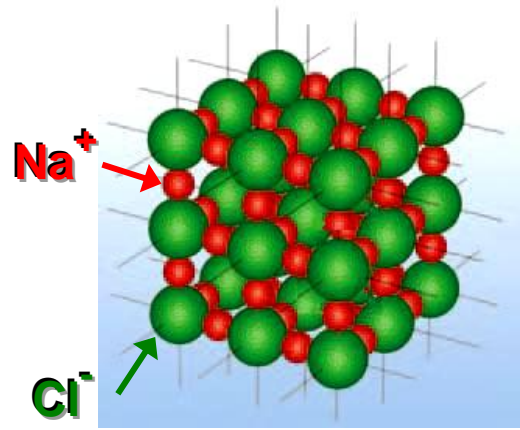
Εικόνα 3.16

Ένα ηλεκτρόνιο μετακινείται από το άτομο του νατρίου στο άτομο του χλωρίου. Έτσι σχηματίζεται ένα θετικό ιόν νατρίου και ένα αρνητικό ιόν χλωρίου.

μεταξύ τους στο χλωριούχο νάτριο (μαγειρικό αλάτι). Επειδή η αλληλεπίδραση μεταξύ ιόντων είναι ισχυρή, σε συνηθισμένη θερμοκρασία οι ιοντικές ενώσεις είναι στερεά και σχηματίζουν κρυστάλλους (εικόνα 3.17). Στις στερεές ιοντικές ενώσεις τα ιόντα δεν έχουν τη δυνατότητα να κινούνται ελεύθερα και επομένως οι ενώσεις αυτές δεν είναι αγωγοί του ηλεκτρικού ρεύματος. Όταν όμως το χλωριούχο νάτριο διαλύεται σε νερό, μόρια νερού παρεμβάλλονται μεταξύ των ιόντων του. Η μεταξύ τους αλληλεπίδραση εξασθενεί οπότε ο κρύσταλλος καταστρέφεται και τα ιόντα του χλωρίου και του νατρίου μπορούν να κινούνται ελεύθερα μέσα στο διάλυμα. Στο πείραμα που παριστάνεται στην εικόνα 3.15 τα θετικά ιόντα του νατρίου έλκονται από το αρνητικό ηλεκτρόδιο και τα αρνητικά ιόντα του χλωρίου από το θετικό. Οι ελκτικές δυνάμεις προκαλούν κίνηση των ιόντων προς τα ηλεκτρόδια και στο διάλυμα δημιουργείται ηλεκτρικό ρεύμα.

Σε άλλα ηλεκτρολυτικά διαλύματα, όπως των οξέων, τα θετικά και τα αρνητικά ιόντα δεν προϋπάρχουν, αλλά δημιουργούνται ως αποτέλεσμα της διάλυσής τους στο νερό.

Εικόνα 3.17
Κρύσταλλοι χλω-
ριούχου νατρίου.



Ηλεκτρόλυση

Συγχρόνως με τη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από το διάλυμα του χλωριούχου νατρίου, χημικές μεταβολές συμβαίνουν στην επιφάνεια των ηλεκτροδίων. Παρατηρούμε ότι φυσαλίδες αερίου εμφανίζονται στο αρνητικό ηλεκτρόδιο, ενώ το διάλυμα κοντά στο θετικό ηλεκτρόδιο θολώνει (εικόνα 3.18). Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ηλεκτρόλυση. Κατά την ηλεκτρόλυση πάνω ή γύρω από τα ηλεκτρόδια πραγματοποιούνται χημικές αντιδράσεις κατά τις οποίες σχηματίζονται διάφορα στοιχεία ή χημικές ενώσεις στα οποία αποθηκεύεται χημική ενέργεια. Από πού προήλθε αυτή η ενέργεια; Αιτία της ηλεκτρόλυσης είναι η διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος από το ηλεκτρολυτικό διάλυμα. Κατά την ηλεκτρόλυση, για παράδειγμα στην επαναφόρτιση μιας μπαταρίας αυτοκινήτου, η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε χημική. Η αντίθετη μετατροπή συμβαίνει βέβαια όταν η μπαταρία λειτουργεί ως ηλεκτρική πηγή.

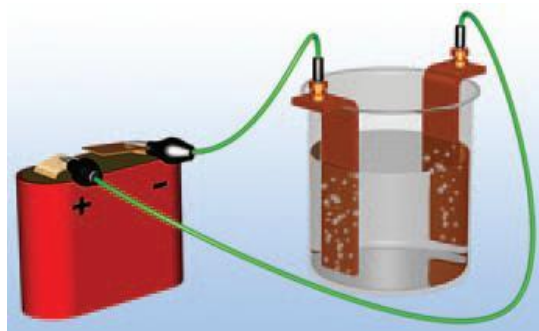
Παραγωγή αλουμινίου με ηλεκτρόλυση

Η ηλεκτρόλυση χρησιμοποιείται για την εξαγωγή μετάλλων από μεταλλεύματα. Το αλουμίνιο είναι ένα γνωστό μέταλλο που παράγεται με ηλεκτρόλυση της αλουμίνας. Σήμερα το αλουμίνιο είναι ένα μέταλλο που χρησιμο-

ποιείται ευρέως, όμως πριν από την έναρξη της παραγωγής του με ηλεκτρόλυση το 1886 ήταν πολύ πιο ακριβό από το χρυσάφι!

Εικόνα 3.18

Από το διάλυμα του χλωριούχου νατρίου διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα. Στα ηλεκτρόδια συμβαίνουν χημικές μεταβολές. Η ηλεκτρική ενέργεια μετασχηματίζεται σε χημική.



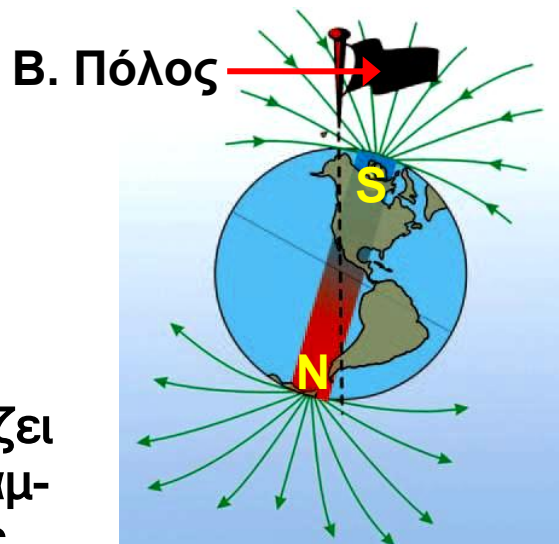
3.3 Μαγνητικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος

Όλοι θα έχετε παρατηρήσει ότι οι μαγνήτες έλκουν σιδερένια αντικείμενα όπως καρφίτσες, συνδετήρες, ρινίσματα κ.ά. Λέμε ότι οι μαγνήτες ασκούν ελκτικές μαγνητικές δυνάμεις σε σιδηρομαγνητικά υλικά. Οι μαγνητικές δυνάμεις ανάμεσα σε δύο μαγνήτες μπορεί να είναι είτε ελκτικές είτε απωστικές. Αντίστοιχα με τις ηλεκτρικές και οι μαγνητικές δυνάμεις είναι δυνατόν να περιγραφούν με χρήση της έννοιας του μαγνητικού πεδίου. **Μαγνητικό πεδίο** ονομάζεται ο χώρος στον οποίο ασκούνται μαγνητικές δυνάμεις. Και η γη ασκεί μαγνητικές δυνάμεις, δηλαδή στο χώρο γύρω από τη γη υπάρχει μαγνητικό πεδίο. Αυτό το μαγνητικό πεδίο προσανατολίζει μια μαγνητική βελόνα τοποθετημένη σε κατακόρυφο άξονα στη διεύθυνση βορρά-νότου (εικόνα 3.19).

Ηλεκτρισμός και μαγνητισμός

Μέχρι το 1820 τα ηλεκτρικά φαινόμενα θεωρούνταν διαφορετικά από τα μαγνητικά. Τότε ο Δανός καθηγη-

τής φυσικής Έρστεντ (εικόνα 3.20) εκτελώντας μπροστά σε φοιτητές πειράματα επίδειξης ηλεκτρικών και μαγνητικών φαινομένων πραγματοποίησε, μάλλον τυχαία, μια σημαντική ανακάλυψη: το ηλεκτρικό ρεύμα προκαλεί μαγνητικά φαινόμενα. Ο δρόμος για την ενοποίηση των ηλεκτρικών και των μαγνητικών φαινομένων είχε ανοίξει.



Εικόνα 3.19

Το μαγνητικό πεδίο της γης μοιάζει με αυτό ενός τεράστιου ευθύγραμμου μαγνήτη του οποίου ο νότιος πόλος βρίσκεται κοντά στο βόρειο γεωγραφικό πόλο της γης.

Λίγο αργότερα ο Γάλλος φυσικός Αμπέρ (εικόνα 3.26) ισχυρίστηκε ότι το ηλεκτρικό ρεύμα είναι το αίτιο κάθε μαγνητικού φαινομένου. Ο Σκωτσέζος φυσικός Μάξγουελ ενσωμάτωσε αυτή την άποψη στη θεωρία του για τον ηλεκτρομαγνητισμό και ο Αϊνστάιν εμβάθυνε στην ερμηνεία της στο πλαίσιο της θεωρίας της σχετικότητας.

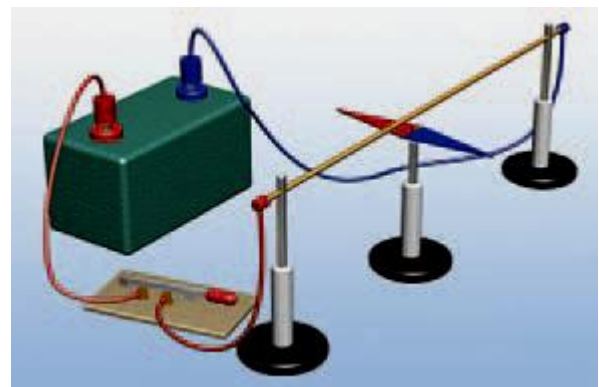
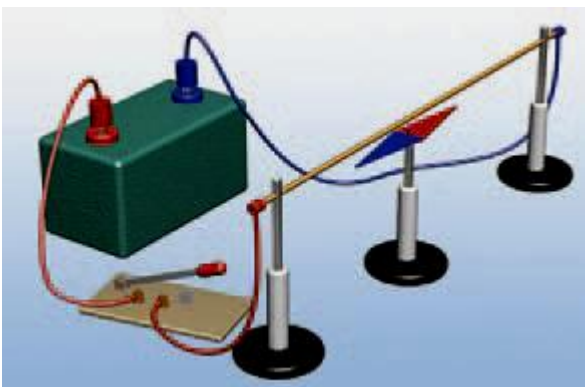
Από αυτές τις παρατηρήσεις και τις ιδέες προέκυψαν σημαντικές εφαρμογές, όπως ο ηλεκτρομαγνήτης. Ηλεκτρομαγνήτες υπάρχουν σε ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές: στον ηλεκτρομαγνητικό γερανό, στο ηλεκτρομαγνητικό τρένο, στις συσκευές αναπαραγωγής ήχου και εικόνας, στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές κ.ά.

Εικόνα 3.20
Χανς Κρίστιαν
Έρστεντ (Oersted, 1777-1851)
Καθηγητής φυσικής στην Κοπεγχάγη
που με το περίφημο πείραμά του άνοιξε
τους ορίζοντες για τη μελέτη του ηλε-
κτρομαγνητισμού.



Το πείραμα του Έρστεντ

Αν τοποθετήσουμε μια μαγνητική βελόνα κοντά σ' ένα ευθύγραμμο σύρμα από το οποίο διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα, η βελόνα αποκλίνει (εικόνα 3.21). Όταν διακοπεί το ηλεκτρικό ρεύμα που διέρχεται από το σύρμα, η βελόνα επανέρχεται στην αρχική της θέση. Συμπεραίνουμε ότι, όταν από έναν αγωγό διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα, αυτός ασκεί μαγνητική δύναμη. Δηλαδή δημιουργεί γύρω του ένα μαγνητικό πεδίο.

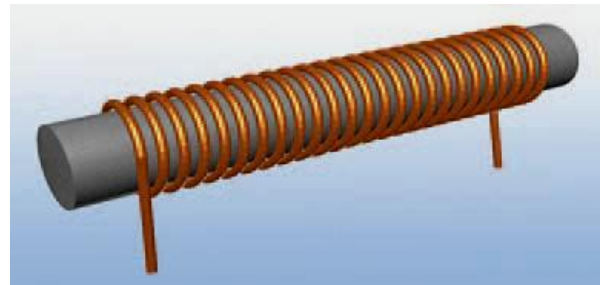


Εικόνα 3.21

Όταν ο διακόπτης είναι ανοιχτός, η βελόνα είναι παράλληλη με το σύρμα (έχει την κατεύθυνση βορράς - νότος). Όταν κλείσουμε το διακόπτη, η βελόνα στρέφεται σχεδόν κάθετα στο σύρμα.

Ποιο γενικότερο συμπέρασμα προκύπτει από το πείραμα του Έρστεντ;

Το ηλεκτρικό ρεύμα, δηλαδή τα κινούμενα ηλεκτρικά φορτία, δημιουργούν το μαγνητικό πεδίο. Τελικά ένα φορτίο που κινείται δημιουργεί τόσο ηλεκτρικό όσο και μαγνητικό πεδίο. Δηλαδή δεν υπάρχουν μαγνητικά φορτία αλλά μόνο ηλεκτρικά τα οποία δημιουργούν τόσο το ηλεκτρικό όσο και το μαγνητικό πεδίο.



Εικόνα 3.22
Σωληνοειδές ή πηνίο.

Ο ηλεκτρομαγνήτης

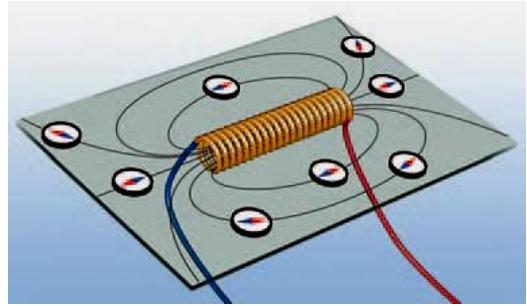
Αν θέλουμε να αυξήσουμε τη μαγνητική δύναμη που ασκεί ένας ρευματοφόρος αγωγός, χρησιμοποιούμε πολλούς αγωγούς μαζί, για παράδειγμα κυκλικούς. Αυτό μπορούμε εύκολα να το επιτύχουμε τυλίγοντας σύρμα σ' ένα μονωμένο κύλινδρο (εικόνα 3.22). Κάθε παρόμοια διάταξη ονομάζεται **σωληνοειδές ή πηνίο**. Όταν από το σύρμα διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα, μέσα και έξω από το πηνίο δημιουργείται ισχυρό μαγνητικό πεδίο. Αν τότε πλησιάσουμε ρινίσματα σιδήρου, παρατηρούμε ότι τα έλκει όπως ένας φυσικός μαγνήτης. Επιπλέον παρατηρούμε ότι, αν πλησιάσουμε μια μαγνητική βελόνα, το ένα άκρο του πηνίου έλκει το βόρειο πόλο της βελόνας, ενώ το άλλο το νότιο πόλο (εικόνα 3.23).

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι: Κάθε πηνίο από το οποίο διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα συμπεριφέρεται ως μαγνήτης. Γι' αυτό ονομάζεται και **ηλεκτρομαγνήτης**.

Εικόνα 3.23

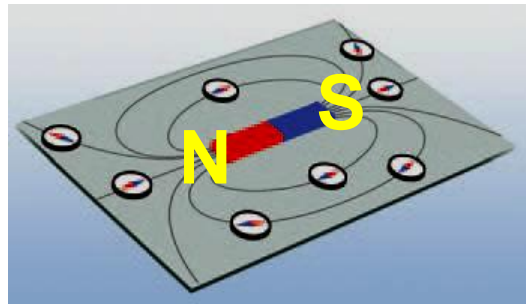
Το μαγνητικό πεδίο ενός πηνίου. Παρατήρησε ότι οι δυναμικές του γραμμές είναι κλειστές και περιβάλλουν τις σπείρες του πηνίου.

Στο εσωτερικό του πηνίου το πεδίο είναι ομογενές.



Εικόνα 3.24

Το μαγνητικό πεδίο ενός ευθύγραμμου μαγνήτη.



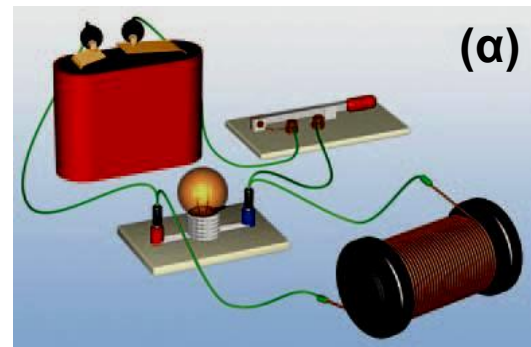
Η μορφή των γραμμών του μαγνητικού πεδίου του ηλεκτρομαγνήτη είναι παρόμοια με του ραβδόμορφου μαγνήτη. Πράγματι, σκορπίζοντας ρινίσματα σιδήρου γύρω από ένα πηνίο από το οποίο διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα, διαπιστώνουμε ότι στον εξωτερικό του χώρο διατάσσονται όπως και στο πεδίο ενός ραβδόμορφου μαγνήτη (εικόνες 3.23 και 3.24).

Στο εσωτερικό του πηνίου οι γραμμές του πεδίου είναι παράλληλες μεταξύ τους και πολύ πιο πυκνές απ' ό,τι στο εξωτερικό. Επομένως στο εσωτερικό ενός πηνίου ασκούνται μαγνητικές δυνάμεις πολύ πιο ισχυρές απ' ό,τι στο εξωτερικό του.

Ενέργεια μαγνητικού πεδίου

Αν συνδέσουμε ένα πηνίο και ένα λαμπτήρα με τους πόλους μιας μπαταρίας, με τον τρόπο που δείχνει η εικόνα 3.25α, τότε αφενός μεν στο πηνίο δημιουργείται μαγνητικό πεδίο, αφετέρου δε ο λαμπτήρας φωτοβολεί. Όταν ανοίξουμε το διακόπτη η μπαταρία απο-

συνδέεται, ο λαμπτήρας σβήνει και το μαγνητικό πεδίο εξαφανίζεται. Ωστόσο αυτό δε συμβαίνει αμέσως: Παρατηρούμε ότι ο λαμπτήρας φωτοβολεί για λίγο και μετά την αποσύνδεση της μπαταρίας (εικόνα 3.25β). Όσο η μπαταρία είναι συνδεδεμένη στο κύκλωμα, χημική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική.

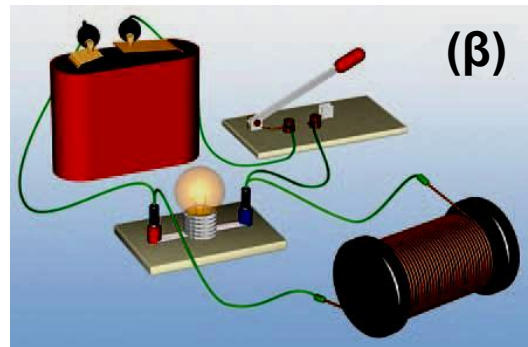


Εικόνα 3.25
(α) Ο διακόπτης είναι κλειστός.



Ποια είναι η προέλευση της ηλεκτρικής ενέργειας που προκάλεσε τη σύντομη φωτοβολία του λαμπτήρα μετά την αποσύνδεση της μπαταρίας;

Για να ερμηνεύσουμε το φαινόμενο αυτό πρέπει να δεχτούμε ότι στο μαγνητικό πεδίο αποθηκεύεται ενέργεια που προήλθε από την ηλεκτρική ενέργεια (εικόνα 3.25α). Μετά την αποσύνδεση της μπαταρίας η ενέργεια του μαγνητικού πεδίου του πηνίου μετατράπηκε σε ηλεκτρική και προκάλεσε τη σύντομη φωτοβολία του λαμπτήρα (εικόνα 3.25β).



Εικόνα 3.25

(β) Μόλις ανοίξουμε το διακόπτη: η ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στο μαγνητικό πεδίο του πηνίου μετατρέπεται σε ηλεκτρική και προκαλεί τη σύντομη φωτοβολία του λαμπτήρα.



Το μαγνητικό πεδίο ασκεί δυνάμεις στους ρευματοφόρους αγωγούς

Γνωρίζουμε ότι κάθε μαγνήτης δημιουργεί γύρω του μαγνητικό πεδίο. Δύο μαγνήτες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με δυνάμεις που ασκούνται σ' αυτούς μέσω των μαγνητικών τους πεδίων. Είδαμε επίσης, σύμφωνα με το πείραμα του Έρστεντ, ότι ένας αγωγός από τον οποίο διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργεί γύρω του μαγνητικό πεδίο. Συμπεριφέρεται δηλαδή όπως ένας μόνιμος μαγνήτης.

Ο Αντρέ Αμπέρ (εικόνα 3.26) διατύπωσε πρώτος την πρόβλεψη ότι, αν τοποθετήσουμε ένα ρευματοφόρο αγωγό μέσα σε μαγνητικό πεδίο, θα του ασκηθεί μαγνητική δύναμη. Για να επιβεβαιώσουμε ή να διαψεύσουμε την υπόθεση του Αμπέρ, θα καταφύγουμε πάλι το πείραμα.

Ένα ευθύγραμμο σύρμα τοποθετείται ανάμεσα στους πόλους ενός μαγνήτη (εικόνα 3.27). Συνδέουμε τα

άκρα του σύρματος με τους πόλους ηλεκτρικής πηγής και κλείνουμε το διακόπτη. Παρατηρούμε ότι το σύρμα εκτρέπεται από την αρχική θέση του. Συμπεραίνουμε ότι στο σύρμα ασκείται δύναμη από το μαγνητικό πεδίο.

Εικόνα 3.26

Αντρέ Μαρί Αμπέρ (1775-1836)

Γάλλος φυσικός και μαθηματικός. Με έναυσμα την προσπάθειά του να ερμηνεύσει το πείραμα του Έρστεντ, έθεσε τα θεωρητικά θεμέλια του ηλεκτρομαγνητισμού. Γι' αυτό και αποκαλείται και «Νεύτωνας του ηλεκτρομαγνητισμού». Για να ελέγξει τη θεωρία του, έκανε ο ίδιος μια σειρά από πρωτότυπα πειράματα, εισάγοντας μεθόδους που ακόμα και σήμερα χρησιμοποιούνται στη σύγχρονη πειραματική Φυσική.



Έτσι λοιπόν επιβεβαιώνουμε την αρχική μας πρόβλεψη: Όταν ένας αγωγός βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο και τον διαρρέει ηλεκτρικό ρεύμα, τότε το μαγνητικό πεδίο ασκεί δύναμη στον αγωγό.

Εικόνα 3.27

Το σύρμα εκτρέπεται από την αρχική θέση ισορροπίας όταν από αυτό διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα. Το μαγνητικό πεδίο ασκεί δύναμη στο σύρμα.



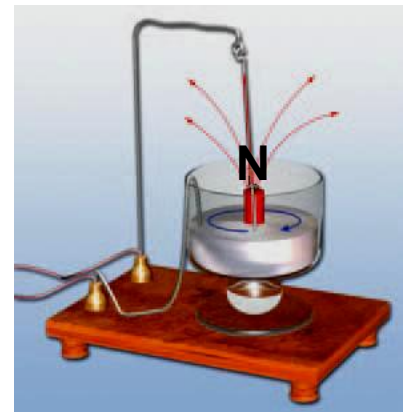
3.4 Ηλεκτρική και μηχανική ενέργεια

Πολλές φορές θα έχεις παίξει με ηλεκτρικά αυτοκινητάκια. Κλείνεις το διακόπτη και το αυτοκινητάκι αρχίζει να κινείται. Το καλοκαίρι, όταν ζεσταίνεσαι, κλείνεις το διακόπτη και τα πτερύγια του ανεμιστήρα αρχίζουν να περιστρέφονται. Και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις όταν κλείνεις το διακόπτη κλείνει ένα ηλεκτρικό κύκλωμα στο εσωτερικό της συσκευής, οπότε απ' αυτή διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα. Το ηλεκτρικό ρεύμα προκαλεί την κίνηση του αυτοκινήτου ή των πτερυγίων του ανεμιστήρα. Σ' αυτή την περίπτωση λέμε ότι η ενέργεια του ηλεκτρικού ρεύματος μετασχηματίζεται σε κινητική ενέργεια του αυτοκινήτου ή των πτερυγίων.

Εικόνα 3.28

Κινητήρας του Φαραντέυ

Από τον αγωγό διέρχεται ρεύμα. Το κύκλωμα κλείνει με τη βοήθεια του υδραργύρου (Hg) που είναι τοποθετημένος στο ποτήρι. Στο κέντρο τοποθετείται κατάλληλα ένας ευθύγραμμος μαγνήτης. Ο μαγνήτης ασκεί δύναμη στον αγωγό. Ο αγωγός περιστρέφεται γύρω από τον πόλο του μαγνήτη.



Οι συσκευές που μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε κινητική ονομάζονται ηλεκτρικοί κινητήρες (εικόνα 3.28).

Ο ηλεκτρικός κινητήρας

Αν συνδέσουμε μια μπαταρία με έναν κινητήρα, το κινούμενο μέρος του κινητήρα περιστρέφεται. Ο πρώτος ηλεκτρικός κινητήρας επινοήθηκε και κατασκευά-

στηκε από τον Άγγλο φυσικό Μ. Φαραντέυ το 1821. Όπως είδαμε, το μαγνητικό πεδίο ασκεί δύναμη σ' ένα ρευματοφόρο αγωγό. Ο Φαραντέυ, αξιοποιώντας αυτό το γεγονός, κατάφερε να προκαλέσει την περιστροφή ενός ρευματοφόρου σύρματος μέσα σε μαγνητικό πεδίο (εικόνα 3.28). Το πείραμα εντυπωσίασε τόσο τον ίδιο όσο και τους συγχρόνους του.

Εικόνα 3.29

Η λειτουργία πολλών μέσων μεταφοράς στηρίζεται σε μηχανές που μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε κινητική.



Οι ηλεκτροκινητήρες αποτέλεσαν τη βάση για την κατασκευή δεκάδων νέων μηχανημάτων που έδωσαν μεγάλη ανάπτυξη στη βιομηχανία, καθώς και νέων μεταφορικών μέσων. Το ηλεκτρικό αυτοκινητάκι, το ηλεκτρικό πλυντήριο ρούχων, το μίξερ, τα τρόλεϊ και τα ηλεκτρικά τρένα, το ηλεκτρικό ψυγείο και η μίζα του αυτοκινήτου λειτουργούν με ηλεκτρικούς κινητήρες (εικόνα 3.29).

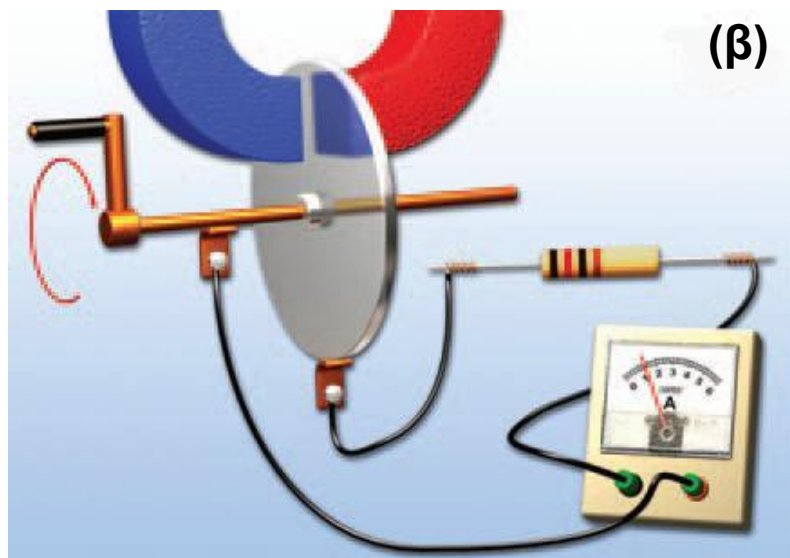
Η ηλεκτρική γεννήτρια

Ο ηλεκτρικός κινητήρας μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε κινητική. Είναι δυνατόν να συμβεί και η αντίστροφη μετατροπή, δηλαδή η κινητική ενέργεια να μετατραπεί σε ηλεκτρική και με ποιο τρόπο;

Η απάντηση στο παραπάνω ερώτημα διερευνήθηκε από πολλούς φυσικούς στις αρχές του 19ου αιώνα. Ο Μ. Φαραντέυ υπήρξε ένας από αυτούς και προκειμένου

να απαντήσει στο ερώτημα πραγματοποίησε πολλά πειράματα. Σε κάποια από αυτά μετακινούσε μαγνήτες κοντά σε πηνία (αγωγούς). Για πολλά χρόνια οι παρατηρήσεις του δεν τον οδήγησαν στην απάντηση του ερωτήματος. Παρ' όλα αυτά συνέχιζε να πειραματίζεται.

Τελικά το 1831 ανακάλυψε ότι, αν περιέστρεφε ένα μεταλλικό δίσκο ανάμεσα στους πόλους ενός μαγνήτη, τότε από το κύκλωμα στο οποίο συνδέονταν ο δίσκος διερχόταν ηλεκτρικό ρεύμα (εικόνα 3.30α, β). Η κινητική ενέργεια του δίσκου μετατρέπεται σε ηλεκτρική.



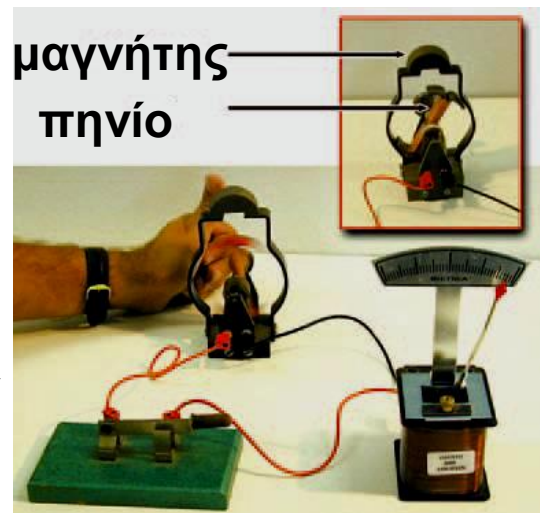
Εικόνα 3.30

(α) Η πρώτη γεννήτρια όπως την κατασκεύασε ο Μ. Φαραντέυ. (β) Σχηματική αναπαράσταση της γεννήτριας του Φαραντέυ (δυναμό).

Η ανακάλυψη του Φαραντέυ οδήγησε στην εφεύρεση των ηλεκτρογεννητριών (εικόνα 3.31). Οι ηλεκτρογεννήτριες είναι συσκευές που μετατρέπουν την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική.

Οι επιστημονικές κατακτήσεις ως κοινωνικό αγαθό

Ο Φαραντέυ θεωρούσε ότι οι κατακτήσεις της επιστήμης έπρεπε να γίνουν κτήμα όλων των ανθρώπων,



Εικόνα 3.31

Ηλεκτρογεννήτρια

Το πηνίο τοποθετείται μεταξύ των πόλων του μαγνήτη και προκαλείται η περιστροφή του. Από το πηνίο διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα. Γιγάντιες γεννήτριες που λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο χρησιμοποιούνται από τη ΔΕΗ.

κυρίως των παιδιών και όχι μόνο της επιστημονικής κοινότητας.

Ο Φαραντέυ (Faraday) ενώ δίνει διάλεξη τα Χριστούγεννα του 1856 στην αίθουσα διαλέξεων του Βασιλικού Ιδρύματος. Τη διάλεξη παρακολουθούν και μέλη της βασιλικής οικογένειας μεταξύ των οποίων βρίσκεται και ο πρίγκιπας της Ουαλίας (ο μελλοντικός Εδουάρδος Ζ').



Γι' αυτό και όταν έγινε Διευθυντής του Βασιλικού Ιδρύματος θέσπισε μια σειρά διαλέξεων που απευθύνονταν στο ευρύ κοινό και πραγματοποιούνταν από επιστήμονες του ιδρύματος κάθε Παρασκευή βράδυ. Επιπλέον καθιέρωσε κατά τη διάρκεια των Χριστουγέννων κάθε έτους μια σειρά εκλαϊκευμένων διαλέξεων που απευθύνονταν σε παιδιά. Ο Φαραντέυ αφιέρωνε πολύ χρόνο και κόπο για την προετοιμασία αυτών των διαλέξεων οι

οποίες και έμειναν ιστορικές, γοήτευσαν και ενέπνευσαν δε πολλούς νέους ανθρώπους. Η παράδοση αυτή των διαλέξεων διατηρείται μέχρι σήμερα.

3.5 Βιολογικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος

Διαφορές δυναμικού και ηλεκτρικά ρεύματα παίζουν βασικό ρόλο στη λειτουργία του νευρικού συστήματος του ανθρώπου. Η διάδοση των νευρικών ερεθισμάτων πραγματοποιείται μέσω ηλεκτρικών παλμών. Οι παλμοί διαδίδονται κατά μήκος του άξονα του νευρικού κυττάρου που περιέχει αγώγιμο υγρό (ηλεκτρολύτη). Έτσι ο άξονας συμπεριφέρεται σαν μπαταρία με διαφορά δυναμικού περίπου 1,1 V.

Η ηλεκτρική φύση της διάδοσης των νευρικών ερεθισμάτων είναι κυρίως υπεύθυνη για τη μεγάλη ευαισθησία του σώματος στο ηλεκτρικό ρεύμα και τους κινδύνους που προέρχονται από αυτό. Οι κίνδυνοι είναι τριών ειδών: εγκαύματα από θέρμανση του σώματος, βλάβες από συσπάσεις των μυών π.χ του μυοκαρδίου και παρέμβαση στη λειτουργία του νευρικού συστήματος.

Το είδος της βιολογικής επίδρασης εξαρτάται κυρίως από την τιμή της έντασης του ρεύματος. Ρεύματα με ένταση 0,1 A είναι πολύ μικρά για να προκαλέσουν ουσιαστική θέρμανση του σώματος. Ακόμη όμως και ρεύματα 0,02 A μέσα από το χέρι ή το πόδι μπορεί να προκαλέσουν ισχυρές μυϊκές συσπάσεις και αρκετό πόνο. Το χειρότερο είναι ότι, όταν ο άνθρωπος βρίσκεται σε επαφή με το ρευματοφόρο αγωγό, οι μύες του βρίσκονται σε συνεχή σύσπαση και επομένως δεν μπορεί να αποσπαστεί από αυτόν. Τότε λέμε ότι το άτομο έπαθε ηλεκτροπληξία. Ρεύματα της τάξης 0,1 A μπορούν να προκαλέσουν θάνατο επειδή παρεμβαίνουν στο νευ-

ρικό σύστημα που ρυθμίζει ζωτικές λειτουργίες όπως η λειτουργία της καρδιάς (πίνακας 3.2).

Δραστηριότητα

Μέτρησε την αντίσταση του σώματός σου

▶ Πάρε ένα πολύμετρο και μετάτρεψέ το σε ωμόμετρο.

▶ Κράτησε με τα δάχτυλά σου τις άκρες των καλωδίων σύνδεσής του.

▶ Πόση είναι η αντίστασή σου;

▶ Βρέξε τα δάχτυλά σου και μέτρησε ξανά την αντίστασή σου.

▶ Υπολόγισε το ρεύμα που θα διαρρέει το σώμα σου και στις δύο περιπτώσεις αν συνδεθείς με τάση 220 Volt.

▶ Μπορείς τώρα να δικαιολογήσεις γιατί το ρεύμα που διέρχεται από το σώμα σου όταν το δέρμα σου είναι υγρό (έχει μεγαλύτερη ένταση και συνεπώς) είναι πιο επικίνδυνο;



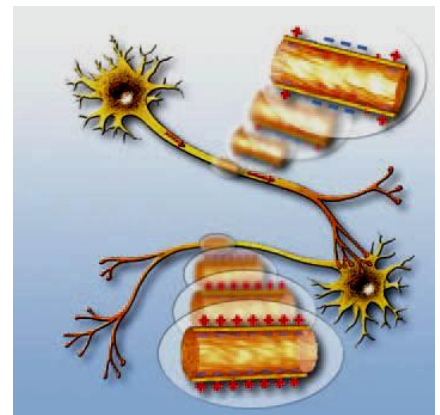
Η αντίσταση του ανθρώπινου σώματος ποικίλλει στα διάφορα μέρη του. Τα υγρά του σώματος είναι αγωγοί λόγω της ύπαρξης ιόντων. Η αντίσταση του δέρματος είναι σχετικά υψηλή, εξαρτάται από τη φυσική του κατάσταση (χοντρό-λεπτό, σκληρό-μαλακό, υγρό-ξηρό κ.λπ.) και κυμαίνεται από 1,5 kΩ για πολύ υγρό έως 100 kΩ για πολύ ξηρό δέρμα. Με αντίσταση 20 kΩ από το νόμο του Ωμ προκύπτει ότι τάση 220 V προκαλεί ρεύμα έντασης 0,011 A ή 11 mA. Κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις, ακόμη και μικρές τάσεις της τάξης των 10 V μπορεί να είναι επικίνδυνες. Όλες οι ηλεκτρικές συ-

σκευές και τα κυκλώματα πρέπει να αντιμετωπίζονται με ιδιαίτερη προσοχή.

Η ηλεκτρική τάση των 220 V που χρησιμοποιούμε στην οικιακή κατανάλωση είναι εξαιρετικά επικίνδυνη. Η επαφή με γυμνά, μη μονωμένα καλώδια μπορεί να προκαλέσει το θάνατο μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα. Γενικά η επαφή με τάσεις πάνω από 40 V πρέπει να θεωρούνται επικίνδυνες.

Νευρικό ερέθισμα και ηλεκτρισμός

Διάδοση ενός νευρικού ερεθίσματος κατά μήκος του νευρικού άξονα.



α. Σε ένα νευρώνα, ο οποίος δεν βρίσκεται σε διέγερση, η κυτταρική μεμβράνη είναι στο εξωτερικό θετικά φορτισμένη, ενώ στο εσωτερικό αρνητικά. Η διαφορά δυναμικού μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού είναι περίπου 0,1 V.

β. Όταν στο άκρο του νευρώνα δημιουργηθεί ένας ερεθισμός, τότε ξεκινά μια σειρά χημικών αντιδράσεων που έχει ως τελικό αποτέλεσμα να φορτίζεται αρνητικά το εξωτερικό της κυτταρικής μεμβράνης και θετικά το εσωτερικό, δηλαδή τοπικά έχουμε αντιστροφή της πολικότητας. Έτσι δημιουργείται μια νευρική ώση και ξεκινά η διάδοση του νευρικού ερεθίσματος.

γ. Στη συνέχεια η νευρική ώση προκαλεί μια ίδια μεταβολή στο γειτονικό τμήμα του νευρώνα, ενώ το προηγούμενο επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση.

δ. Με αυτό το τρόπο η νευρική ώση ταξιδεύει από το ένα άκρο του νευρώνα στο άλλο ως ένα κύμα τοπικών ηλεκτρικών μεταβολών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2

ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΩΝ ΑΛΛΟΙΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΒΛΑΒΩΝ ΠΟΥ ΥΦΙΣΤΑΤΑΙ Ο ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΞΑΡΤΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΝΤΑΣΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΠΟΥ ΤΟΝ ΔΙΑΡΡΕΙ

Ένταση ρεύματος	Αποτελέσματα
0 - 1 mA	Δεν είναι αισθητά
1 - 8 mA	Ελάχιστα αισθητά - ακίνδυνα
8 - 15 mA	Οδυνηρό - προκαλεί σύσπαση των μυών
10 - 20 mA	Πολύ οδυνηρό. Προκαλεί σύσπαση των μυών και δεν μπορούμε να απομακρυνθούμε από το σημείο επαφής.
20 - 50 mA	Προκαλεί παράλυση των μυών και συμπτώματα ασφυξίας
50 - 100 mA	Προσβάλλει την καρδιά και επιφέρει το θάνατο

3.6 Ενέργεια και ισχύς του ηλεκτρικού ρεύματος

Το ηλεκτρικό ρεύμα όταν διαρρέει οποιαδήποτε συσκευή ή μηχανή μεταφέρει σ' αυτή ενέργεια η οποία μετατρέπεται σε ενέργεια κάποιας άλλης μορφής. Έτσι, για παράδειγμα, στη διάταξη της εικόνας 3.32, όταν ο κινητήρας περιστρέφεται και ανυψώνει ένα βαρίδι, μετατρέπει σε μηχανική ένα μέρος της ενέργειας που μεταφέρεται σ' αυτόν από το ηλεκτρικό ρεύμα. Το υπόλοιπο μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας μετατρέπεται σε θερμική λόγω του φαινομένου Τζάουλ και της τριβής.

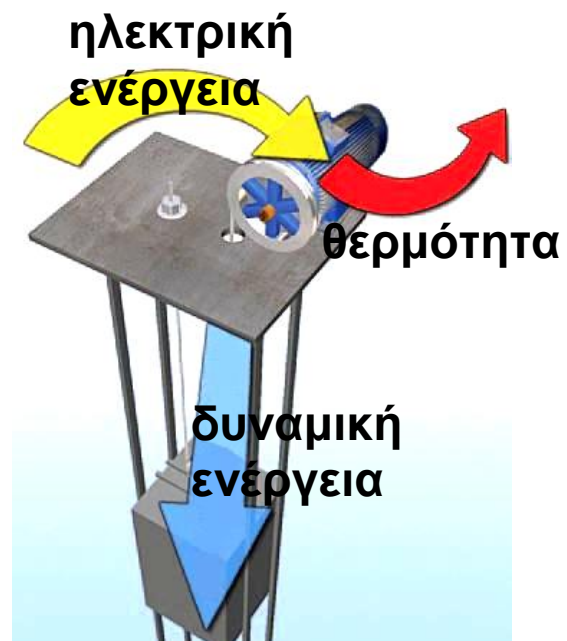
Ενέργεια που μετατρέπει μια ηλεκτρική συσκευή

Πόση είναι η συνολική ηλεκτρική ενέργεια που «καταναλώνει» μια συσκευή και τη μετατρέπει σε ενέργεια άλλων μορφών;

Είδαμε (σχέση 2.3) ότι η ενέργεια που προσφέρεται από το ηλεκτρικό ρεύμα σε έναν ηλεκτρικό καταναλωτή δίνεται από τη σχέση $E_{\eta\lambda} = q \cdot V$. Αν λάβουμε υπόψη τον ορισμό της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος, προκύπτει:

$$E_{\eta\lambda\epsilon\kappa\tau\rho\rho\iota\kappa\eta} = V \cdot (I \cdot t) \quad \text{ή} \quad E_{\eta\lambda\epsilon\kappa\tau\rho\rho\iota\kappa\eta} = V \cdot I \cdot t \quad (3.3)$$

δηλαδή η ενέργεια που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα σε μια συσκευή είναι ανάλογη της διαφοράς δυναμικού (V) που εφαρμόζεται στα άκρα (πόλους) της συσκευής, της έντασης (I) του ηλεκτρικού ρεύματος που τη διαρρέει και του χρόνου λειτουργίας της (t).



Εικόνα 3.32

Ένα μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας μεταφέρεται από τον κινητήρα στο βαρίδι και μετατρέπεται σε δυναμική. Το υπόλοιπο μετασχηματίζεται σε θερμική στον κινητήρα λόγω του φαινομένου Τζάουλ και των τριβών που ασκούνται στα κινούμενα μέρη.

Πρέπει να σημειώσουμε ότι η σχέση 3.3 ισχύει για κάθε είδος ηλεκτρικής συσκευής που μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε ενέργεια κάποιας άλλης μορφής. Έτσι μπορούμε να την εφαρμόσουμε σε κινητήρα, αντιστάτη, μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία, λαμπτήρα κ.λπ.

Η μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας, όπως και κάθε μορφής ενέργειας, στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (S.I.) είναι το ένα Τζάουλ (1 J).

Αν στη σχέση 3.3 αντικαταστήσουμε $V=1\text{ V}$, $I = 1\text{ A}$ και $t = 1\text{ s}$ μπορούμε να υπολογίσουμε την ηλεκτρική ενέργεια που «καταναλώνει / μετασχηματίζει σε ένα δευτερόλεπτο μια συσκευή από την οποία διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα έντασης 1 A και μεταξύ των άκρων της εφαρμόζεται τάση 1 V:

$$E_{\eta\lambda} = (1\text{ V}) (1\text{ A}) (1\text{ s}) = 1\text{ J}$$

Ωστε ηλεκτρικό ρεύμα έντασης 1 A μεταφέρει σε μια ηλεκτρική συσκευή ενέργεια ίση με 1 J όταν τη διαρρέει επί 1 s και η τάση που εφαρμόζεται στα άκρα της είναι 1 V.

Δραστηριότητα

Ηλεκτρική και μηχανική ενέργεια

► Συναρμολόγησε το κύκλωμα που εικονίζεται στην διπλανή εικόνα. Με τη βοήθεια ηλεκτρικού κινητήρα ανυψώνεται ένα βαρίδι κατά ορισμένο ύψος. Συμπλήρωσε τους πίνακες:



Σημειώνουμε:

Ένδειξη βολτόμετρου (V)	Ένδειξη αμπερόμετρου (I)	Μάζα βαριδίου(m)	Χρόνος ανύψωσης (t)

Υπολογίζουμε:

Ηλεκτρική ενέργεια που αποδόθηκε στον κινητήρα	Δυναμική ενέργεια βαριδίου	Ηλεκτρική ισχύς του κινητήρα	Μηχανική ισχύς

- ▶ Σύγκρινε το αποτέλεσμα της πρώτης και της δεύτερης στήλης. Είναι σύμφωνο με την αρχή διατήρησης της ενέργειας; Αιτιολόγησε την απάντησή σου.
- ▶ Μετακινούμε το δρομέα του ροοστάτη και αυξάνουμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον κινητήρα. Ανυψώνουμε το ίδιο βαρίδι κατά το ίδιο ύψος.
- ▶ Συμπλήρωσε τους ίδιους πίνακες.
- ▶ Σύγκρινε τα αποτελέσματα. Ποια φυσικά μεγέθη μεταβλήθηκαν ως αποτέλεσμα της μετακίνησης του δρομέα;

Η ισχύς που «καταναλώνει» μια ηλεκτρική συσκευή

Στις πρακτικές εφαρμογές δεν μας ενδιαφέρει μόνον πόση ενέργεια μετατρέπεται μια συσκευή ή μηχανή, αλλά και ο χρόνος μέσα στον οποίο συμβαίνει αυτό, δηλαδή μας ενδιαφέρει η ισχύς της συσκευής.

Γνωρίζουμε ότι η ισχύς (P) είναι η ποσότητα της ενέργειας (E) που μετατρέπεται («παράγει», «καταναλώνει») ή μεταφέρει μια μηχανή (ή, γενικότερα, συσκευή) προς το αντίστοιχο (απαιτούμενο) χρονικό διάστημα (t). Στη γλώσσα των Μαθηματικών γράφουμε:

$$P = \frac{E}{t}$$

Επομένως, σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό η ηλεκτρική ισχύς που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα σε μια ηλεκτρική συσκευή είναι

$P_{\eta\lambda} = \frac{E_{\eta\lambda}}{t}$. Αν αντικαταστήσουμε την ηλεκτρική ενέργεια από τη σχέση 3.3 λαμβάνουμε $P_{\eta\lambda} = \frac{V \cdot I \cdot t}{t}$ δηλαδή

$$P_{\eta\lambda} = V \cdot I \quad (3.4)$$

Όστε η ηλεκτρική ισχύς που «καταναλώνει» / μετασχηματίζει μια οποιαδήποτε ηλεκτρική συσκευή είναι ίση με το γινόμενο της διαφοράς δυναμικού που εφαρμόζεται στους πόλους της επί την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που τη διαρρέει.

Έτσι, για παράδειγμα, αν στα άκρα μιας ηλεκτρικής συσκευής εφαρμόσουμε διαφορά δυναμικού $V = 1 \text{ Volt}$ και μετρήσουμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος $I = 1 \text{ A}$, τότε σύμφωνα με τη σχέση 3.3 η ηλεκτρική ισχύς που μετατρέπεται είναι:

$$P_{\eta\lambda} = (1 \text{ V}) \cdot (1 \text{ A}) = 1 \text{ W}$$

Με άλλα λόγια ένα ηλεκτρικό ρεύμα έντασης 1 A που διαρρέει μια συσκευή στα άκρα της οποίας εφαρμόζεται διαφορά δυναμικού 1 V μεταφέρει σ' αυτήν ηλεκτρική ισχύ 1 W . Αν η συσκευή αυτή είναι ένας κινητήρας που μετατρέπεται σχεδόν ολόκληρη την ηλεκτρική ισχύ σε μηχανική μπορεί να ανυψώσει ένα μήλο 100 g σε ύψος 1 m σε χρόνο ενός δευτερόλεπτου.

Κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας

Για να λειτουργήσουν οι ηλεκτρικές συσκευές που υπάρχουν στο σπίτι μας χρειάζονται ενέργεια. Ποιος παρέχει αυτή την ενέργεια;

Η ενέργεια παρέχεται από εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας όπως η ΔΕΗ. Η ενέργεια όμως στοιχίζει. Κάπου στο εξωτερικό μέρος του σπιτιού μας υπάρχει

έναν ηλεκτρικό μετρητή σαν αυτόν που απεικονίζεται στην εικόνα 3.33. Ο ηλεκτρικός μετρητής μετράει τη συνολική ηλεκτρική ενέργεια που προσφέρεται από τη ΔΕΗ στις ηλεκτρικές συσκευές του σπιτιού μας. Ο λογαριασμός της ΔΕΗ αντιστοιχεί στο κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιήθηκε για τη λειτουργία των συσκευών και όχι στην ισχύ τους.

Βέβαια η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνει μια συσκευή ισούται με το γινόμενο της ισχύος της συσκευής επί το χρόνο λειτουργίας της, δηλαδή:

$$E_{\eta\lambda} = P_{\eta\lambda} \cdot t$$

kWh
30118.5



Εικόνα 3.33

Ο ηλεκτρικός μετρητής και ο λογαριασμός της ηλεκτρικής ενέργειας. Από ένα λογαριασμό «**ηλεκτρικού ρεύματος**»¹ μπορείς να υπολογίσεις το κόστος σε λεπτά ηλεκτρικής ενέργειας 1.000 J;

1.

Ποιο επιστημονικό λάθος διακρίνεις στο χαρακτηρισμό από τη ΔΕΗ του παραπάνω λογαριασμού; Ποια αλλαγή θα πρότεινες στη ΔΕΗ;

Αν η ισχύς μετράται σε W και ο χρόνος σε s, τότε η ενέργεια υπολογίζεται σε J. Όμως το Τζάουλ είναι μια μικρή ποσότητα ενέργειας. Γι' αυτό το λόγο οι εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας μετρούν την ενέργεια που παρέχουν σε μια άλλη μονάδα που λέγεται κιλοβατώρα (συμβολικά: 1 kW · h). Μια κιλοβατώρα είναι ίση με την ενέργεια που καταναλώνεται από μια συσκευή ισχύος

1 kW (1000 W) όταν λειτουργεί για μια ώρα. Ένας λαμπτήρας ισχύος 100 W όταν λειτουργεί για 10 ώρες καταναλώνει ενέργεια 1 kWh. Παραδείγματα ισχύος κάποιων ηλεκτρικών συσκευών παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Συσκευή	Συμβατικοί λαμπτήρες (σύνολο φωτισμού σπιτιού)
Ισχύς σε W	600
Εκτίμηση χρόνου λειτουργίας σε h ανά ημέρα	
Ενέργεια	
Ημερήσιο κόστος	
Τετράμηνο κόστος	
Συσκευή	Ηλεκτρική κουζίνα
Ισχύς σε W	1500
Εκτίμηση χρόνου λειτουργίας σε h ανά ημέρα	
Ενέργεια	
Ημερήσιο κόστος	
Τετράμηνο κόστος	
Συσκευή	Θερμοσίφωνας
Ισχύς σε W	2.500
Εκτίμηση χρόνου λειτουργίας σε h ανά ημέρα	
Ενέργεια	
Ημερήσιο κόστος	
Τετράμηνο κόστος	

Συσκευή	Τηλεόραση
Ισχύς σε W	500
Εκτίμηση χρόνου λειτουργίας σε h ανά ημέρα	
Ενέργεια	
Ημερήσιο κόστος	
Τετράμηνο κόστος	
Συσκευή	Ηλεκτρικό ψυγείο
Ισχύς σε W	150
Εκτίμηση χρόνου λειτουργίας σε h ανά ημέρα	
Ενέργεια	
Ημερήσιο κόστος	
Τετράμηνο κόστος	
Συσκευή	Ηλεκτρικό πλυντήριο
Ισχύς σε W	3.500
Εκτίμηση χρόνου λειτουργίας σε h ανά ημέρα	
Ενέργεια	
Ημερήσιο κόστος	
Τετράμηνο κόστος	

Οι μετασχηματισμοί ενέργειας έχουν κόστος και επιβαρύνουν το περιβάλλον: Μείωσε τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας.

Στους πίνακες των προηγούμενων σελίδων δίνεται μια σειρά συσκευών που χρησιμοποιούνται καθημερινά στο σπίτι σου με τις αντίστοιχες ισχύες,
 - Κάνε μια εκτίμηση για το χρόνο σε ώρες που λειτουργεί κάθε συσκευή κάθε μέρα,

- Υπολόγισε την ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία της,
- Υπολόγισε το κόστος λειτουργίας για τέσσερις μήνες (χρονικό διάστημα που υπολογίζει και η ΔΕΗ την παρεχόμενη ενέργεια),
- Σκέψου ποιες από τις συσκευές θα ήταν δυνατόν να λειτουργούν για μικρότερο χρονικό διάστημα ή με ποιον άλλο τρόπο θα ήταν δυνατόν να μειωθεί η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για τις ανάγκες της οικογένειάς σου.
- Υπολόγισε την ποσότητα ενέργειας που μπορεί να εξοικονομηθεί, καθώς και το οικονομικό όφελος που θα προκύψει.

Ερωτήσεις

ερωτήσεις

► Χρησιμοποίησε και εφάρμοσε τις έννοιες που έμαθες:

Θερμικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος

1. Συμπλήρωσε τις λέξεις που λείπουν από το παρακάτω κείμενο έτσι ώστε οι προτάσεις που προκύπτουν να είναι επιστημονικά ορθές:

α. Όταν από έναν αντιστάτη διέρχεται
 η θερμοκρασία του Η αύξηση αυτή συνδέεται με αύξηση της ενέργειας του αντιστάτη. Επιπλέον όταν η του αντιστάτη γίνεται μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, τότε ενέργεια (.....) θα μεταφέρεται από τον αντιστάτη στο περιβάλλον του. Η ενέργεια αυτή προέρχεται από την ενέργεια.

β. Η αύξηση της ενέργειας ενός αντιστάτη αντίστασης R , όταν από αυτόν διέρχεται σταθερής έντασης (I) και επομένως η ποσότητα της Q που μεταφέρεται από αυτόν προς το περιβάλλον σε χρονικό διάστημα t είναι i) του του ηλεκτρικού ρεύματος (I) που διαρρέει τον αντιστάτη, ii) της (R) του αντιστάτη και iii) του (t) του ηλεκτρικού ρεύματος από τον αντιστάτη.

γ. Όταν από ένα μεταλλικό αγωγό διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα ένα μέρος της ενέργειας των ελεύθερων ηλεκτρονίων μεταφέρεται στα του μεταλλικού πλέγματος. Η άτακτη κίνηση όλων των δομικών λίθων του αγωγού γίνεται Η ενέργεια του αγωγού και η του αυξάνονται. Η ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων μειώνεται προσωρινά. Όμως, οι δυνάμεις του ηλεκτρικού πεδίου προκαλούν εκ νέου της ταχύτητάς τους και αναπληρώνουν την ενέργειά τους.

Χημικά, μαγνητικά και βιολογικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος. Ηλεκτρική και μηχανική ενέργεια

2. Συμπλήρωσε τις προτάσεις ώστε να είναι επιστημονικά ορθές:

α. Αιτία της ηλεκτρόλυσης είναι η διέλευση του από το διάλυμα. Κατά την ηλεκτρόλυση η ενέργεια μετατρέπεται σε

β. Το ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργεί πεδίο. Στο πεδίο αυτό ενέργεια η οποία προέρχεται από την ενέργεια. Όταν ένας αγωγός

βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο και τον διαρρέει
..... ρεύμα, τότε το πεδίο ασκεί
στον αγωγό.

γ. Οι ηλεκτροκινητήρες είναι μηχανές που μετατρέπουν
την ενέργεια σεενέργεια. Η
λειτουργία τους στηρίζεται στο ότι το
ασκεί δύναμη σ' έναν αγωγό από τον οποίο διέρχεται
.....

δ. Οι γεννήτριες είναι μηχανές που μετατρέπουν την
κινητική ενέργεια σε

Ενέργεια και ισχύς του ηλεκτρικού ρεύματος

3. Συμπλήρωσε τις λέξεις που λείπουν από το παρακάτω κείμενο έτσι ώστε οι προτάσεις που προκύπτουν να είναι επιστημονικά ορθές:

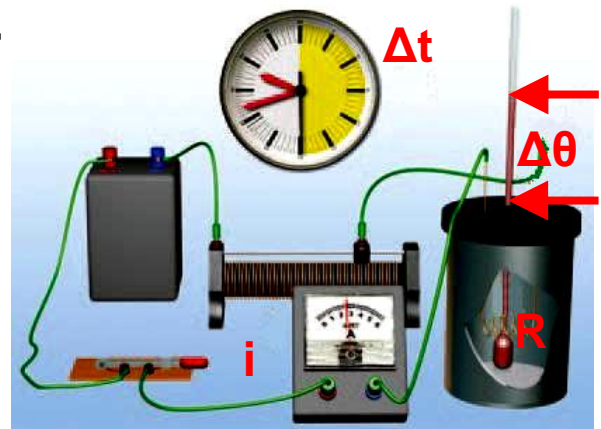
Το ηλεκτρικό ρεύμα όταν διαρρέει οποιαδήποτε συσκευή ή μηχανή μεταφέρει σ' αυτή η οποία είναι ανάλογη της(V) που εφαρμόζεται στα άκρα (πόλους) της συσκευής, της(I) του που τη διαρρέει και του(t). Η ενέργεια αυτήσε ενέργεια άλλης μορφής.

► Εφάρμοσε τις γνώσεις σου και γράψε τεκμηριωμένες απαντήσεις στις ερωτήσεις που ακολουθούν:

Θερμικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος

4. Να χαρακτηρίσεις με Σ τις προτάσεις των οποίων το περιεχόμενο είναι επιστημονικά ορθό και με Λ αυτές που το περιεχόμενο τους είναι επιστημονικά λανθασμένο.

i. Βυθίζουμε έναν αντιστάτη από χαλκό σε νερό που βρίσκεται μέσα σε θερμικά μονωμένο δοχείο. Από τον αντιστάτη διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα, την ένταση του οποίου ρυθμίζουμε με ένα ροοστάτη. Όταν από τον αντιστάτη διέρχεται ρεύμα έντασης 1 A, η θερμοκρασία του νερού αυξάνεται από τους 20 °C στους 22 °C σε χρονικό διάστημα μισού λεπτού.



α. Σε χρονικό διάστημα δύο λεπτών η θερμοκρασία του

νερού αυξάνεται από τους 20 °C στους 28 °C.

β. Αν μετακινήσουμε το δρομέα του ροοστάτη και αυξήσουμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος σε 2 A, τότε σε χρονικό διάστημα μισού λεπτού η θερμοκρασία του νερού αυξάνεται από τους 20 °C στους 24 °C.

γ. Αν αντικαταστήσουμε τον αντιστάτη με άλλον διπλάσιας αντίστασης και ρυθμίσουμε το ροοστάτη έτσι ώστε η ένταση του ρεύματος που τον διαρρέει να είναι 1 A, σε χρονικό διάστημα μισού λεπτού η θερμοκρασία του νερού αυξάνεται από τους 20 °C στους 24 °C.

δ. Αν με τον αρχικό αντιστάτη ρυθμίσουμε την ένταση στα 0,5 A και θερμάνουμε το νερό για δύο λεπτά, η θερμοκρασία του θα αυξηθεί από τους 20 °C στους 24 °C.

ii. Η αύξηση της θερμοκρασίας ενός μεταλλικού αγωγού, όταν από αυτόν διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα, οφείλεται τελικά:

α. Στην αύξηση της κινητικής ενέργειας μόνον των ελεύθερων ηλεκτρονίων του.

β. Στην αύξηση της κινητικής ενέργειας μόνον των ιόντων του μεταλλικού πλέγματος.

γ. Στην προσανατολισμένη κίνηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων του.

δ. Στην αύξηση της κινητικής ενέργειας λόγω της άτακτης κίνησης των ελεύθερων ηλεκτρονίων του και των ιόντων του μεταλλικού πλέγματος.

5. Ηλεκτρικό ρεύμα ορισμένης έντασης διαρρέει αντιστάτη για χρονικό διάστημα δύο λεπτών. Το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που ο αντιστάτης μετατρέπει σε θερμική είναι 30 J. Αν διπλασιαστεί η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, ποια είναι η αντίστοιχη ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που μετατρέπεται σε θερμική σε ένα λεπτό;

6. Με ποιο τρόπο προστατεύεται μια ηλεκτρική συσκευή με τη βοήθεια μιας τηκόμενης ασφάλειας;

Ενέργεια και ισχύς του ηλεκτρικού ρεύματος

7. Να χαρακτηρίσεις με Σ τις προτάσεις των οποίων το περιεχόμενο είναι επιστημονικά ορθό και με Λ αυτές που το περιεχόμενο τους είναι επιστημονικά λανθασμένο.

Στους πόλους ενός ηλεκτρικού κινητήρα εφαρμόζεται διαφορά δυναμικού 5 V, οπότε από αυτόν διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα έντασης 0,1 A. Ο κινητήρας περιστρέφεται και κινεί ένα αυτοκινητάκι:

α. Η μηχανική ισχύς που αποδίδει ο κινητήρας είναι 0,5 W.

β. Στον κινητήρα μεταφέρεται ηλεκτρική ισχύς 0,5 W.

γ. Ένα μέρος της ηλεκτρικής ισχύος που μεταφέρεται στον κινητήρα μετατρέπεται σε θερμικές απώλειες λόγω του φαινομένου Τζάουλ.

δ. Κάθε δευτερόλεπτο 0,5 J ηλεκτρικής ενέργειας που μεταφέρονται από το ηλεκτρικό ρεύμα στον κινητήρα μετατρέπονται σε θερμική ενέργεια.

ε. Η μηχανική ενέργεια που αποδίδει ο κινητήρας σε ένα λεπτό είναι μικρότερη των 30 J.

8. Να περιγράψεις τις μετατροπές ή μεταφορές ενέργειας που συμβαίνουν σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα που αποτελείται από μια μπαταρία και έναν αντιστάτη ο οποίος είναι βυθισμένος σε νερό που βρίσκεται μέσα σε θερμικά μονωμένο δοχείο.

9. Να περιγράψεις τις μετατροπές ενέργειας που συμβαίνουν κατά τη λειτουργία του κινητήρα ενός ανελκυστήρα καθώς ανυψώνει το θάλαμο από τον 1ο στον 5ο όροφο μιας πολυκατοικίας.

10. Μπορεί ένας κινητήρας να αποδίδει μηχανική ισχύ μεγαλύτερη από την ηλεκτρική ισχύ που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα σ' αυτόν; Να αιτιολογήσεις την απάντησή σου.

Ασκήσεις

ασκήσεις

Για όλες τις ασκήσεις δίνεται η ειδική θερμότητα του νε-

$$\text{ρού: } c = 4.200 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Θερμικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος

1. Σε ηλεκτρικό καταναλωτή αναγράφονται από τον κατασκευαστή οι ενδείξεις «12 V, 30 W». Τι σημαίνει αυτή η πληροφορία; Αν εφαρμόσουμε στους πόλους

του καταναλωτή τάση 12 V , πόση θα είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που θα τον διαρρέει;

2. Τρεις ηλεκτρικές συσκευές, ένας αντιστάτης, ένας κινητήρας και ένας συσσωρευτής έχουν χαρακτηριστικά λειτουργίας (12 V , 6 W), (12 V , 30 W) και (12 V , 24 W) αντίστοιχα. Πώς πρέπει να τις συνδέσουμε με πηγή σταθερής τάσης 12 V , ώστε να λειτουργήσουν σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή τους; Πόση είναι η ολική ηλεκτρική ισχύς που παρέχει τότε η ηλεκτρική πηγή και στις τρεις συσκευές;

3. Στους πόλους ηλεκτρικής πηγής σταθερής τάσης 6 V συνδέουμε αντιστάτη αντίστασης $6\ \Omega$ σε σειρά με αμπερόμετρο. α. Σχεδιάσε το κύκλωμα. β. Ποια είναι η ένδειξη του αμπερόμετρου; γ. Ποια είναι η ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται από τον αντιστάτη προς το περιβάλλον σε χρόνο δύο λεπτών; δ. Πόση είναι η ηλεκτρική ενέργεια που προσδίδει η πηγή στο κύκλωμα στον ίδιο χρόνο; ε. Αν αντικαταστήσουμε τον αντιστάτη με έναν άλλο που έχει τη μισή αντίσταση, σε πόσο χρόνο θα παραχθεί απ' αυτόν η ίδια ποσότητα θερμότητας; στ. Πόση είναι η ηλεκτρική ενέργεια που προσδίδει η ηλεκτρική πηγή στο κύκλωμα ανά δευτερόλεπτο, σε καθεμία από τις δύο περιπτώσεις;

4. Διαθέτεις έναν αντιστάτη αντίστασης $R = 12\ \Omega$, μια ηλεκτρική πηγή σταθερής τάσης $V = 6\text{ V}$, καλώδια σύνδεσης, διακόπτη και ένα θερμικά μονωμένο δοχείο που περιέχει νερό μάζας $0,1\text{ kg}$ αρχικής θερμοκρασίας $18\text{ }^\circ\text{C}$.

α. Να σχεδιάσεις τη σχηματική αναπαράσταση της διάταξης που θα χρησιμοποιήσεις για να θερμάνεις το νερό.

β. Να υπολογίσεις την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη.

γ. Σε πόσο χρόνο η θερμοκρασία του νερού θα μεταβληθεί από τους $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ στους $25\text{ }^{\circ}\text{C}$;

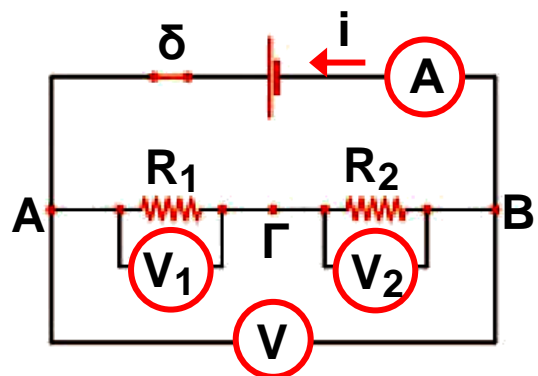
5. Ηλεκτρικός θερμοσίφωνα (εικόνα 3.13, σελ. 20) περιέχει νερό μάζας 10 kg , έχει αντιστάτη αντίστασης $60\ \Omega$, ενώ το ηλεκτρικό ρεύμα που τον διαρρέει έχει ένταση 4 A .

α. Με βάση τα παραπάνω δεδομένα να υπολογίσεις την ηλεκτρική ενέργεια που μεταφέρεται στο θερμοσίφωνα σε χρόνο 2 min .

β. Αν γνωρίζεις ότι το 70% του ποσού της θερμότητας που μεταφέρεται από τον αντιστάτη στο περιβάλλον απορροφάται από το νερό του θερμοσίφωνα, να υπολογίσεις την αύξηση της θερμικής ενέργειας και της θερμοκρασίας του νερού στα 2 min .

6. Στο κύκλωμα της διπλανής εικόνας οι δύο αντιστάτες έχουν αντιστάσεις $R_1=20\ \Omega$ και $R_2=40\ \Omega$ αντίστοιχα. Μόλις κλείσουμε το διακόπτη, η ένδειξη του βολτόμετρου είναι 12 V .

α. Ποια θα είναι τότε η ένδειξη του αμπερόμετρου; β. Να υπολογίσεις την ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται από κάθε αντιστάτη στο περιβάλλον σε δύο λεπτά. γ. Να υπολογίσεις την ηλεκτρική ενέργεια που παρέχει η πηγή στο κύκλωμα στον ίδιο χρόνο. δ. Να υπολογίσεις την παραγόμενη θερμότητα ανά δευτερόλεπτο σε κάθε αντιστάτη. ε. Να υπολογίσεις την ενέργεια που παρέχει η πηγή στο κύκλωμα ανά δευτερόλεπτο.



Ενέργεια και ισχύς του ηλεκτρικού ρεύματος

7. Μια μπαταρία συνδέεται με τα άκρα ενός κινητήρα, έτσι ώστε ο κινητήρας να περιστρέφεται. Με τη βοήθεια ενός αμπερόμετρου μετράμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος του κυκλώματος. Με ένα βολτόμετρο μετράμε την τάση στους πόλους της μπαταρίας.

α. Να σχεδιάσεις το αντίστοιχο κύκλωμα.

β. Αν η ένδειξη του αμπερόμετρου παραμένει σταθερή και ίση με $I = 0,5 \text{ A}$, να υπολογίσεις το ηλεκτρικό φορτίο που διέρχεται από την μπαταρία και από τον κινητήρα σε χρονικό διάστημα ενός λεπτού.

γ. Αν η ένδειξη του βολτόμετρου παραμένει σταθερή και είναι ίση με 6 V , να υπολογίσεις την ποσότητα της χημικής ενέργειας της μπαταρίας που μετατράπηκε σε ηλεκτρική στο ίδιο χρονικό διάστημα.

δ. Αν γνωρίζεις ότι σχεδόν όλη η ενέργεια που προσδίδει η μπαταρία στο κύκλωμα μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια στον κινητήρα, θα ήταν δυνατόν να χρησιμοποιήσουμε τον κινητήρα για να ανυψώσουμε μια πέτρα μάζας 1 kg σε ύψος 15 m ; ($g = 10 \text{ m/s}^2$)

8. Συνδέουμε τους πόλους κινητήρα με ηλεκτρική πηγή σταθερής τάσης 12 V , οπότε η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που τον διαρρέει είναι 2 A . Ο κινητήρας αποδίδει σε ένα λεπτό μηχανική ενέργεια 1.000 J .

α. Να υπολογίσεις την ηλεκτρική ισχύ που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα στον κινητήρα.

β. Να υπολογίσεις την ηλεκτρική ενέργεια που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα στον κινητήρα σε χρόνο ενός λεπτού.

γ. Να υπολογίσεις την ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται από τον κινητήρα στο περιβάλλον στον ίδιο χρόνο.

δ. Να υπολογίσεις την απόδοση του κινητήρα.

9. Σε κινητήρα που λειτουργεί υπό τάση 120 V μπορεί να μεταφερθεί ηλεκτρική ισχύς 600 W, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή του. Τότε το 80% της ηλεκτρικής ισχύος μετατρέπεται από τον κινητήρα σε μηχανική ισχύ. Όταν ο κινητήρας λειτουργεί κάτω από αυτές τις συνθήκες, να υπολογίσεις:

α. Την ηλεκτρική ενέργεια που μεταφέρεται στον κινητήρα όταν λειτουργεί επί δέκα λεπτά.

β. Την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που τον διαρρέει.

γ. Τη μηχανική ισχύ που αποδίδει.

δ. Τη μηχανική ενέργεια που αποδίδει σε δέκα λεπτά λειτουργίας.

ε. Το μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που μεταφέρεται στο περιβάλλον με τη μορφή θερμότητας κάθε δευτερόλεπτο.

στ. Το μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που μετατρέπεται σε θερμότητα και μεταφέρεται στο περιβάλλον σε δέκα λεπτά λειτουργίας.

10. Η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς που μπορεί να μεταφερθεί σ' έναν αντιστάτη αντίστασης 100 Ω, χωρίς να καεί, είναι 4 W.

α. Να υπολογίσεις τη μέγιστη τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος που μπορεί να τον διαρρέει.

β. Να υπολογίσεις τη μέγιστη τιμή της ηλεκτρικής τάσης που μπορούμε να εφαρμόσουμε στα άκρα του. Ποια είναι τότε η ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται από τον αντιστάτη στο περιβάλλον του σε χρόνο δύο λεπτών;

γ. Αν εφαρμόσουμε στα άκρα του τάση 10 V, πόση είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που τον διαρρέει;

Πόση ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται απ' αυτόν σε θερμότητα ανά δευτερόλεπτο; Πόση θερμότητα μεταφέρεται από τον αντιστάτη στο περιβάλλον σε χρόνο δύο λεπτών; Σύγκρινε την τιμή αυτή με την αντίστοιχη του ερωτήματος (β).

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

- Όταν από ένα μεταλλικό αγωγό διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα, η ηλεκτρική ενέργεια που μεταφέρει μετατρέπεται σε θερμική. Η θερμοκρασία του αγωγού αυξάνεται και θερμότητα μεταφέρεται απ' αυτόν στο περιβάλλον.
- Η ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται από έναν αντιστάτη στο περιβάλλον, όταν από αυτόν διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα, είναι ανάλογη: του τετραγώνου της έντασης του ρεύματος, της αντίστασης του αντιστάτη και του χρόνου διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος. Ο νόμος αυτός είναι γνωστός ως «νόμος του Τζάουλ».
- Κατά τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από τους ηλεκτρολύτες η ηλεκτρική ενέργεια μετασχηματίζεται σε χημική.
- Γύρω από έναν αγωγό που τον διαρρέει ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργείται μαγνητικό πεδίο. Το μαγνητικό πεδίο έχει ενέργεια και μπορεί να προκαλέσει ηλεκτρικά φαινόμενα.
- Το μαγνητικό πεδίο ασκεί δύναμη σε κάθε αγωγό από τον οποίο διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα όταν αυτός βρίσκεται μέσα στο πεδίο. Το φαινόμενο αυτό το εκμεταλλευόμαστε για την κατασκευή των ηλεκτροκινητήρων. Οι ηλεκτροκινητήρες μετασχηματίζουν την ηλεκτρική ενέργεια σε κινητική.

□ Κάθε ηλεκτρική συσκευή μετασχηματίζει ηλεκτρική ενέργεια σε ενέργεια άλλης μορφής. Η συνολική ποσότητα της ενέργειας που μετασχηματίζει είναι ανάλογη της ηλεκτρικής τάσης που εφαρμόζεται στα άκρα της, της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που τη διαρρέει, καθώς και του χρόνου λειτουργίας της.

□ Η ηλεκτρική ισχύς που μετασχηματίζει μια ηλεκτρική συσκευή είναι ίση με το γινόμενο της διαφοράς δυναμικού που εφαρμόζεται στους πόλους της επί την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που τη διαρρέει.

ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΟΙ

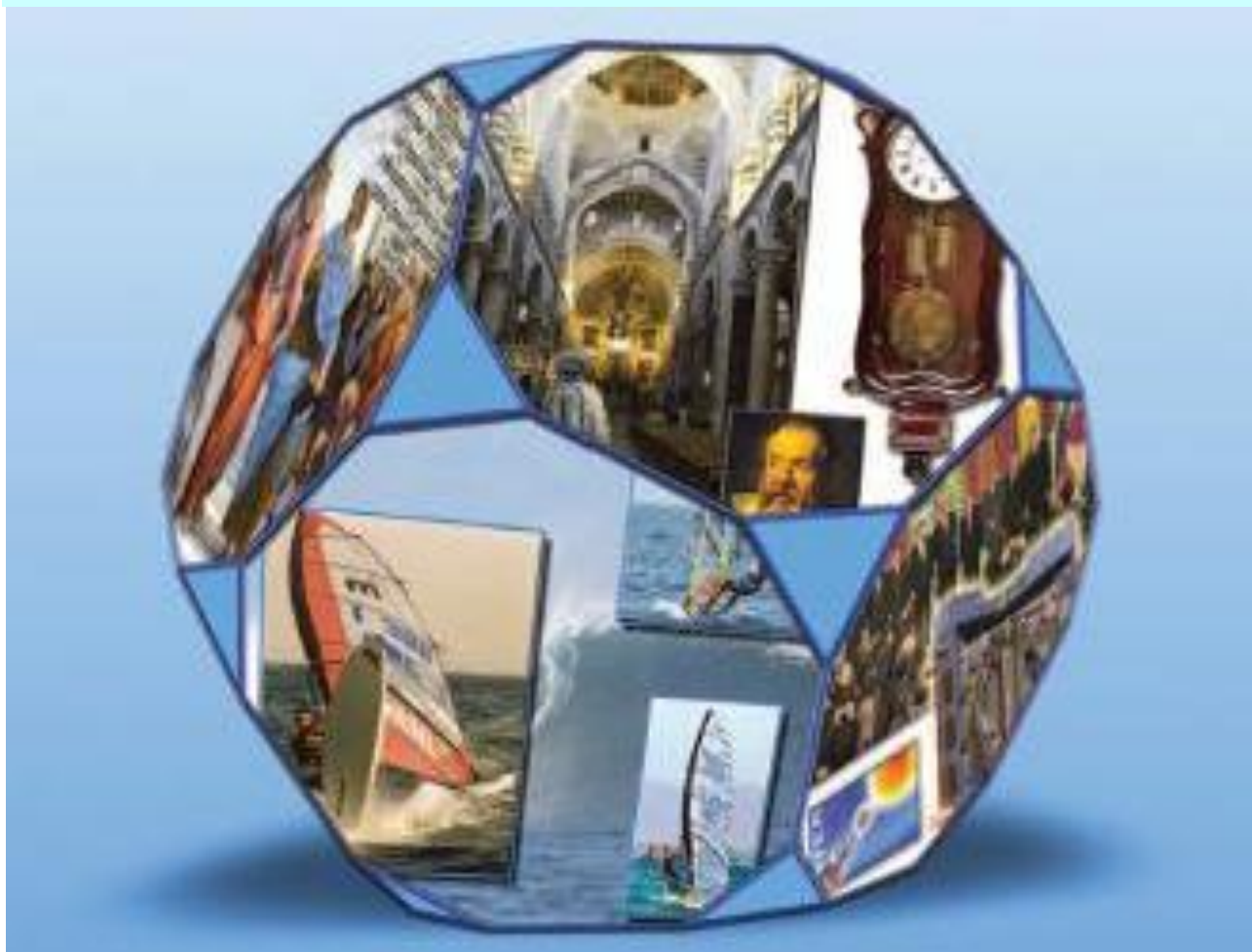
Θερμική ενέργεια | Ηλεκτρική ισχύς | Ηλεκτροκινητήρας
| Θερμοκρασία | Ηλεκτρική ενέργεια | Ηλεκτρο-
γεννήτρια | Θερμότητα |

ΕΝΟΤΗΤΑ 2

ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ

Κεφάλαιο 4 : Ταλαντώσεις

Κεφάλαιο 5 : Μηχανικά κύματα



Ο άνθρωπος από αρχαιοτάτων χρόνων παρατήρησε στο φυσικό του περιβάλλον κινήσεις που επαναλαμβάνονται σε ίσα χρονικά διαστήματα και τις χρησιμοποίησε για να μετρήσει το χρόνο. Παρατήρησε τον κυματισμό της θάλασσας ή των λιμνών και τον εκμεταλλεύτηκε για να κινείται γρήγορα στο νερό. Στην ενότητα αυτή θα μελετήσουμε τις ταλαντώσεις και θα

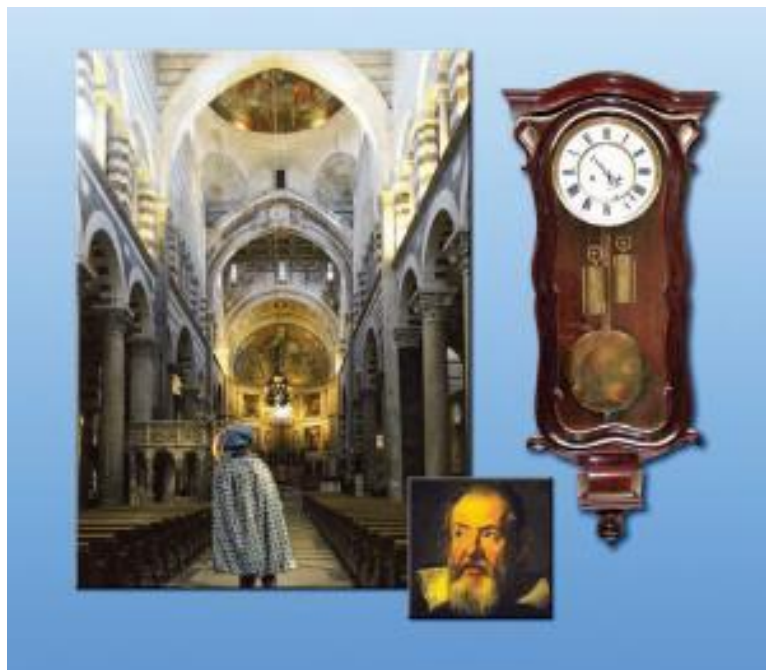
**εισάγουμε τα βασικά μεγέθη για την περιγραφή τους:
περίοδο, συχνότητα και πλάτος.**

**Θα μάθουμε να περιγράψουμε τις ενεργειακές
μετατροπές που συμβαίνουν σε μια ταλάντωση.**

**Θα γνωρίσουμε ότι τα κύματα μεταφέρουν ενέργεια
και θα εισάγουμε τα βασικά μεγέθη που τα
περιγράφουν καθώς και τις σχέσεις που τα συνδέουν.
Τέλος θα δούμε ότι ο ήχος είναι μηχανικό κύμα και θα
εξοικειωθούμε με τα χαρακτηριστικά του.**

μια μικρή ιστορία...

**Μια Κυριακή του 1581 ο 17χρονος Γαλιλαίος πήγε στον
καθεδρικό ναό της Πίζας για να παρακολουθήσει τη θεία
λειτουργία. Όμως η προσοχή του αποσπάστηκε από
την κίνηση ενός πολυελαίου ο οποίος σπρωγμένος
από τα ρεύματα του αέρα πηγαινοερχόταν διανύοντας
άλλοτε μεγαλύτερο και άλλοτε μικρότερο τόξο.**



**Ο Γαλιλαίος χρονομετρώντας με το σφυγμό του,
παρατήρησε ότι απαιτούνταν πάντα το ίδιο χρονικό
διάστημα για την κίνηση του πολυελαίου από το ένα**

άκρο του τόξου στο άλλο. Αναρωτήθηκε ποιοι νόμοι διέπουν την κίνηση του πολυελαίου. Οι παρατηρήσεις του τον οδήγησαν στη μελέτη της κίνησης του εκκρεμούς. Περίπου εβδομήντα χρόνια αργότερα το εκκρεμές χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή επιβλητικά μεγάλων ρολογιών - επίπλων. Αυτά ήταν τα πρώτα ρολόγια ακριβείας που εφευρέθηκαν. Τι είδους κίνηση εκτελούσε ο πολυέλαιος που παρατήρησε ο Γαλιλαίος;

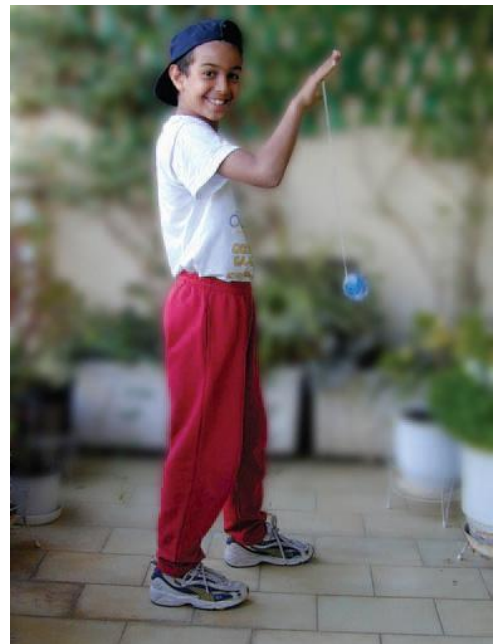
Στο κεφάλαιο αυτό:

- Θα μελετήσεις κινήσεις σαν αυτές του εκκρεμούς: τις ταλαντώσεις.
- Θα μάθεις να περιγράφεις τις ταλαντώσεις στη γλώσσα της φυσικής και να διατυπώνεις τους νόμους που τις χαρακτηρίζουν.
- Θα γνωρίσεις τις ενεργειακές μετατροπές που πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια μιας ταλάντωσης.

ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ

ΠΕΡΙΟΔΙΚΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ

Όταν ήσουν μικρός πολλές φορές θα είχες ανέβει στην κούνια ή θα παρατήρησες άλλα παιδιά να παίζουν με αυτή. Η κούνια ξεκινά από ψηλά, κατεβαίνει, ανεβαίνει πάλι ψηλά, κατεβαίνει χαμηλά και επιστρέφει πάλι ψηλά στη θέση απ' όπου ξεκίνησε και συνεχίζει την κίνησή της ακριβώς με τον ίδιο τρόπο. Το γιο-γιο είναι ένα δημοφιλές παιχνίδι, διαδεδομένο σε πολλές χώρες του κόσμου (πιθανόν να έχεις παίξει πολλές φορές με αυτό). Κρατάς το σπάγκο από την ελεύθερη άκρη και αφήνεις το δίσκο να κινηθεί. Ο σπάγκος τυλίγεται και ξετυλίγεται γύρω από την αύλακα πολλές φορές με τον ίδιο ακριβώς τρόπο (εικόνα 4.1).



Εικόνα 4.1

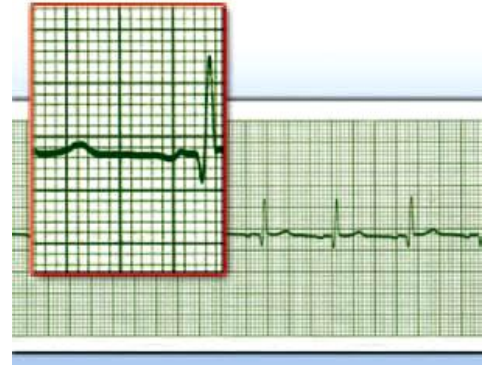
Ο δίσκος του γιο-γιο κινείται μεταξύ δύο ακραίων θέσεων.

Η κίνηση της κούνιας ή του γιο-γιο είναι παραδείγματα περιοδικών κινήσεων, δηλαδή κινήσεων που επαναλαμβάνονται σε ίσα χρονικά διαστήματα.

Περιοδική κίνηση είναι και η ομαλή κυκλική κίνηση, καθώς και η κίνηση της Γης γύρω από τον Ήλιο που επαναλαμβάνεται κάθε έτος. Ο μυς της καρδιάς επίσης εκτελεί περιοδική κίνηση, όπως δείχνει και το ηλεκτροκαρδιογράφημα (εικόνα 4.2).

Εικόνα 4.2

Η περιοδική κίνηση του καρδιακού μυός καταγράφεται με τη βοήθεια κατάλληλης συσκευής, του ηλεκτροκαρδιογράφου.



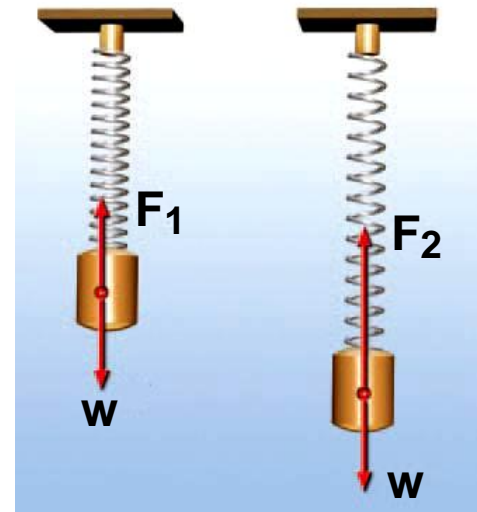
4.1 Ταλαντώσεις

Είναι όμως όλες οι περιοδικές κινήσεις όμοιες; Ποιες είναι οι πιο χαρακτηριστικές διαφορές της περιοδικής κίνησης του γιο-γιο και της περιφοράς της Γης γύρω από τον Ήλιο;

Η τροχιά της Γης είναι κλειστή, σχεδόν κυκλική. Δεν έχει ακραία σημεία. Αντίθετα το γιο-γιο κινείται μεταξύ δύο ακραίων θέσεων. Η τροχιά του δεν είναι μια κλειστή γραμμή όπως ο κύκλος. Τέτοιου είδους περιοδικές κινήσεις ανάμεσα σε δύο ακραία σημεία της τροχιάς ονομάζονται **ταλαντώσεις**.

Ταλάντωση μπορεί να εκτελέσει μια κούνια, η ράβδος σ' ένα παλιό ρολόι τοίχου, η χορδή μιας κιθάρας, ένα σώμα συνδεδεμένο με ελατήριο, η στήλη του αέρα μέσα στη φλογέρα, το έμβολο μιας μηχανής αυτοκινήτου, αλλά και ένας κρύσταλλος χαλαζία σ' ένα μοντέρνο ρολόι χεριού.

Ποιες είναι οι προϋποθέσεις ώστε ένα σώμα να κάνει ταλάντωση;



Εικόνα 4.3

- (α) Θέση ισορροπίας: Η δύναμη F_1 , είναι ίση με το βάρος W .
 (β) Τυχαία θέση: Η δύναμη F_2 είναι μεγαλύτερη από το βάρος W .

Όπως φαίνεται στην εικόνα 4.3 το σώμα που είναι δεμένο στην άκρη του ελατηρίου ταλαντώνεται. Η κίνησή του είναι μεταβαλλόμενη. Στο σώμα ασκείται το βάρος του και η δύναμη του ελατηρίου. Η δύναμη που ασκεί το ελατήριο κατά τη διάρκεια της κίνησης μεταβάλλεται συνεχώς, ενώ το βάρος παραμένει σταθερό. Έτσι κατά τη διάρκεια της ταλάντωσης η συνισταμένη δύναμη μεταβάλλεται. Κατά την κίνησή του, ωστόσο, το σώμα περνά από μια θέση στην οποία η συνισταμένη δύναμη που ασκείται σ' αυτό μηδενίζεται. Η θέση αυτή ονομάζεται θέση ισορροπίας του σώματος. Κάθε ταλάντωση πραγματοποιείται γύρω από τη θέση ισορροπίας του ταλαντούμενου σώματος. Καθώς το σώμα απομακρύνεται από τη θέση ισορροπίας, η δύναμη τείνει να το επαναφέρει προς αυτήν.



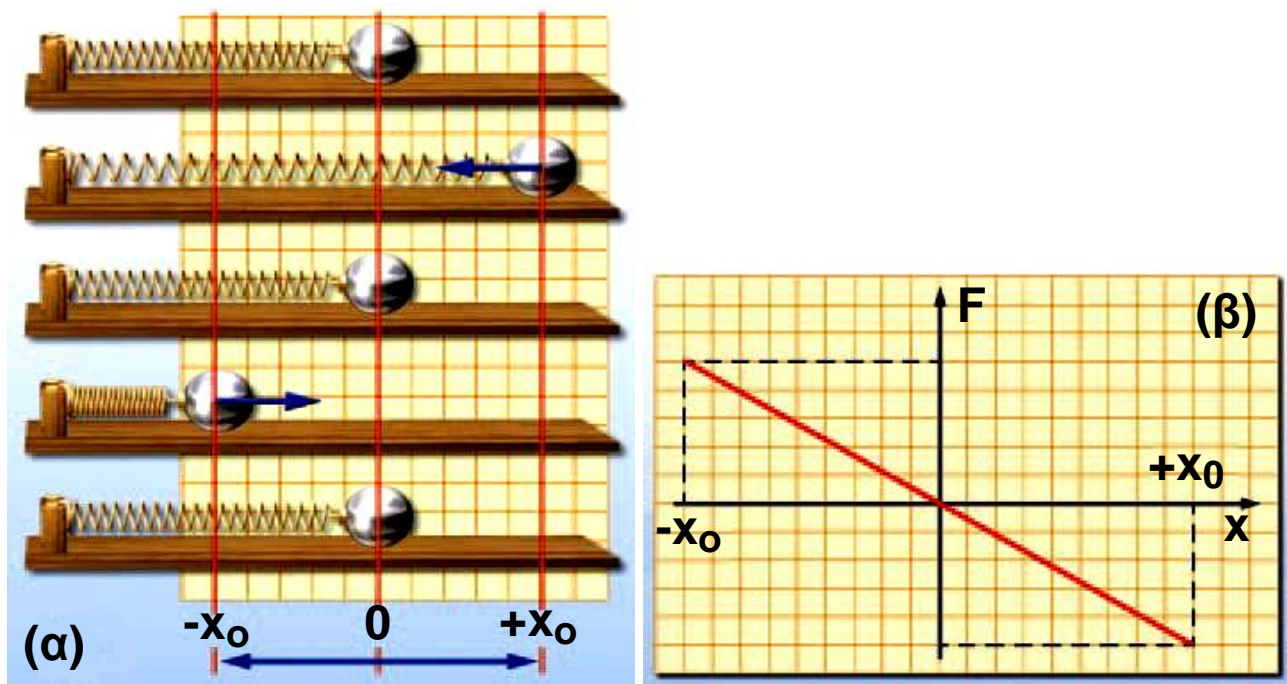
Εικόνα 4.4

Τα ηλεκτρόνια στην κεραία ενός ραδιοφωνικού σταθμού εκτελούν ταλαντώσεις.

Ποιες δυνάμεις μπορούν να προκαλέσουν ταλάντωση; Στη συνέχεια αναφέρονται μερικές περιπτώσεις δυνάμεων που μπορούν να προκαλέσουν ταλάντωση, όπως η βαρυτική στην περίπτωση της κούνιας ή του εκκρεμούς. Μπορεί όμως να είναι η δύναμη που ασκεί μια τεταμένη χορδή, η συνισταμένη του βάρους και της δύναμης που ασκεί ένα παραμορφωμένο ελατήριο (εικόνα 4.3). Επίσης στους αγωγούς του ηλεκτρικού ρεύματος μπορεί να είναι η δύναμη που ασκεί το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται από μια ηλεκτρική πηγή που δημιουργεί ηλεκτρικό ρεύμα μεταβαλλόμενης έντασης (εικόνα 4.4).

Δύναμη στην απλή αρμονική ταλάντωση

Στερεώνουμε το ένα άκρο οριζόντιου ελατηρίου και συνδέουμε στο άλλο άκρο μια μικρή σφαίρα. Απομακρύνουμε τη σφαίρα από τη θέση που ισορροπεί και την αφήνουμε ελεύθερη, οπότε εκτελεί ταλάντωση.



Εικόνα 4.5
Αρμονική ταλάντωση και δύναμη.

Σύμφωνα με το νόμο του Χουκ, το μέτρο της δύναμης που ασκεί το ελατήριο είναι ανάλογο με τη μεταβολή του μήκους του, δηλαδή με την απομάκρυνση της σφαίρας από τη θέση ισορροπίας. Η δύναμη αυτή τείνει να επαναφέρει τη σφαίρα στη θέση ισορροπίας. Γι' αυτό και την αποκαλούμε δύναμη επαναφοράς (εικόνα 4.5). Όταν η δύναμη επαναφοράς είναι ανάλογη με την απομάκρυνση του σώματος από τη θέση ισορροπίας, τότε η κίνηση που κάνει το σώμα ονομάζεται απλή αρμονική ταλάντωση.

4.2 Μεγέθη που χαρακτηρίζουν μια ταλάντωση

Για να περιγράψουμε μια ταλάντωση χρησιμοποιούμε ορισμένα φυσικά μεγέθη: την περίοδο, τη συχνότητα και το πλάτος της ταλάντωσης.

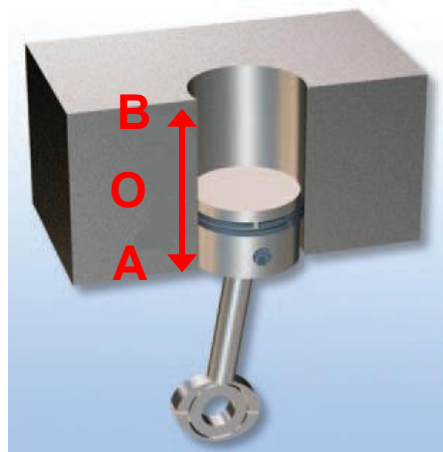


Εικόνα 4.6

Το σώμα κινείται από το A προς το B και ξανά προς το A.

Στην εικόνα του σχήματος 4.6 τραβάμε το ελατήριο στη θέση A και το αφήνουμε ελεύθερο. Το σώμα από τη θέση A φθάνει στη θέση O (θέση όπου αρχικά ισορροπούσε), στη συνέχεια στη θέση B και μετά επιστρέφει στην O και ακολούθως ξανά στην A. Ο χρόνος που χρειάζεται για να κινηθεί το σώμα από το A στο O, μετά

στο B και στη συνέχεια να επιστρέψει πάλι στο A, δηλαδή ο χρόνος μιας πλήρους ταλάντωσης, ονομάζεται περίοδος της ταλάντωσης (T).



Εικόνα 4.7
Έμβολο μηχανής κινείται μεταξύ των ακραίων θέσεων A και B, περνώντας από τη θέση ισορροπίας O.

Σε χρόνο μιας περιόδου το έμβολο μιας μηχανής (εικόνα 4.7) ή το βαράκι του εκκρεμούς, καθώς και η κούνια επιστρέφουν στη θέση από όπου ξεκίνησαν (A) για να αρχίσουν μια νέα ίδια ταλάντωση. Το εκκρεμές του ρολογιού της εικόνας 4.8 σε χρόνο ενός λεπτού πραγματοποιεί 30 πλήρεις ταλαντώσεις. Λέμε ότι η συχνότητα ταλάντωσης του εκκρεμούς είναι 30 ταλαντώσεις το λεπτό ή μισή ταλάντωση το δευτερόλεπτο. Η κούνια εκτελεί σε ένα λεπτό 15 ταλαντώσεις. Η συχνότητα της ταλάντωσης της κούνιας είναι 15 ταλαντώσεις το λεπτό ή ένα τέταρτο της ταλάντωσης το δευτερόλεπτο. Δηλαδή συχνότητα (f) ονομάζεται ο αριθμός των πλήρων ταλαντώσεων (N) που εκτελεί το σώμα σε χρονικό διάστημα Δt προς το αντίστοιχο χρονικό διάστημα. Για να βρούμε τη συχνότητα μιας ταλάντωσης μετράμε τον αριθμό των ταλαντώσεων που εκτελεί το σώμα σε ορισμένο χρόνο και στη συνέχεια διαιρούμε αυτό τον αριθμό με το αντίστοιχο χρονικό διάστημα.

$$\text{συχνότητα} = \frac{\text{αριθμός ταλαντώσεων}}{\text{χρονικό διάστημα}} \quad \text{ή} \quad f = \frac{N}{\Delta t} \quad (4.1)$$

Επειδή σε χρόνο μιας περιόδου το σώμα εκτελεί μια πλήρη ταλάντωση, αν στη σχέση (4.1) θέσουμε $\Delta t = T$, τότε $N = 1$ και επομένως προκύπτει:

$$f = \frac{1}{T}$$

δηλαδή η συχνότητα ισούται με το αντίστροφο της περιόδου. Μονάδα συχνότητας είναι το Χερτζ (Hertz). Η συχνότητα ταλάντωσης ενός σώματος είναι $\frac{1}{s} = 1 \text{ Hz}$ όταν εκτελεί μια πλήρη ταλάντωση σε χρονικό διάστημα 1 δευτερόλεπτο.



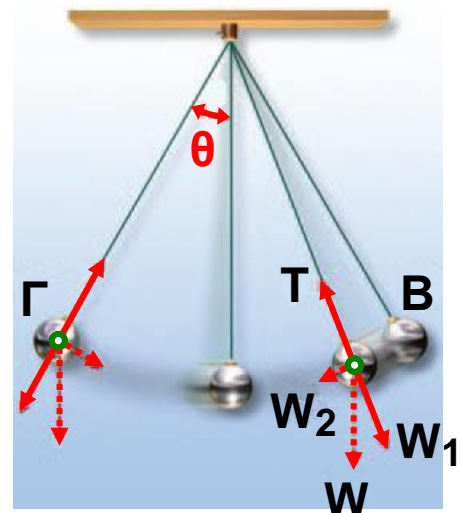
Εικόνα 4.8
Ρολόι με εκκρεμές.

Συναρμολογούμε τη διάταξη που παριστάνεται στην εικόνα 4.6 και απομακρύνουμε το σώμα από την αρχική θέση ισορροπίας επιμηκύνοντας το ελατήριο κατά OA . Καθώς το σώμα ταλαντώνεται, παρατηρούμε ότι δεν ξεπερνά τη θέση A . Δηλαδή η αρχική απομάκρυνση από τη θέση ισορροπίας είναι και η μεγαλύτερη απομάκρυνση στην οποία μπορεί να βρεθεί το σώμα κατά την ταλάντωσή του. Η μέγιστη απομάκρυνση από τη θέση ισορροπίας ονομάζεται και πλάτος της ταλάντωσης.

Το απλό εκκρεμές αποτελείται από ένα μικρό σώμα κρεμασμένο από νήμα μήκους ℓ που το άλλο άκρο του είναι στερεωμένο σ' ένα σταθερό σημείο. Όταν το σώμα ισορροπεί, το νήμα είναι κατακόρυφο. Αν το σώμα απομακρυνθεί από τη θέση ισορροπίας, εκτελεί ταλάντωση ανάμεσα στις δύο ακραίες θέσεις Β και Γ. Οι δυνάμεις που καθορίζουν την κίνησή του είναι το βάρος (W) και η δύναμη που ασκεί το νήμα (Τάση, T) (εικόνα 4.9). Εφόσον το εκκρεμές εκτελεί ταλάντωση, η κίνησή του περιγράφεται από τα χαρακτηριστικά μεγέθη της ταλάντωσης, δηλαδή την περίοδο, τη συχνότητα και το πλάτος.

Εικόνα 4.9

Σε κάθε θέση η συνιστώσα του βάρους W_2 τραβά το σώμα προς τη θέση ισορροπίας. Το πλάτος της ταλάντωσης προσδιορίζεται από τη μέγιστη τιμή της γωνίας θ .



Από ποια μεγέθη εξαρτάται η περίοδος της ταλάντωσης ενός απλού εκκρεμούς;

Πειραματικά προκύπτει ότι η περίοδος του εκκρεμούς:

- Είναι ανεξάρτητη της μάζας του.
 - Δεν εξαρτάται από το πλάτος, όταν εκτρέπεται κατά μικρή γωνία θ (μικρότερη από 10 μοίρες) (εικόνα 4.9).
 - Αυξάνεται όταν μεγαλώσουμε το μήκος του νήματος.
- Ένα εκκρεμές που έχει μεγάλο μήκος έχει μεγαλύτερη περίοδο από ένα άλλο μικρότερου μήκους. Όλα τα εκκρεμή που έχουν το ίδιο μήκος έχουν την ίδια περίοδο

ταλάντωσης (ανεξάρτητα από το πλάτος και τη μάζα). Επομένως το εκκρεμές μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως χρονόμετρο. Γι' αυτό η πιο γνωστή εφαρμογή του εκκρεμούς αφορά τη μέτρηση του χρόνου.

- Εξαρτάται από τον τόπο στον οποίο βρίσκεται. Έτσι αν βρισκόμαστε στον Ισημερινό το ίδιο εκκρεμές ταλαντώνεται με μεγαλύτερη περίοδο απ' ό,τι στους πόλους (εικόνα 4.10). Στη Σελήνη η περίοδος του αυξάνεται κατά 2,5 φορές περίπου.



Εικόνα 4.10

Το ίδιο εκκρεμές εκτελεί μια πλήρη ταλάντωση σε μικρότερο χρόνο, όταν είναι στους πόλους απ' ό,τι όταν βρίσκεται στον ισημερινό.

Δραστηριότητα

Απλό εκκρεμές

Πάρε ένα κομμάτι σπάγκου μήκους 1 m. Δέσε στην άκρη του ένα βαράκι. Μέτρησε το χρόνο που απαιτείται για να εκτελέσει το εκκρεμές 30 ταλαντώσεις. Υπολόγισε την περίοδο του εκκρεμούς.

Δραστηριότητα

Σύστημα ελατήριο-σώμα

▶ Στερέωσε το ένα άκρο ελατηρίου και κρέμασε από το άλλο άκρο του ένα σώμα. Αφού το σύστημα ισορροπήσει, απομάκρυνε το σώμα από τη θέση ισορροπίας και άφησέ το ελεύθερο.

Τι είδους κίνηση εκτελεί το σώμα; Το πλάτος της ταλάντωσης διατηρείται σταθερό; Η μηχανική ενέργεια του συστήματος παραμένει σταθερή;

► Μέτρησε το χρόνο που χρειάζεται το σώμα για να εκτελέσει 10 πλήρεις ταλαντώσεις και υπολόγισε την περίοδο της ταλάντωσης.

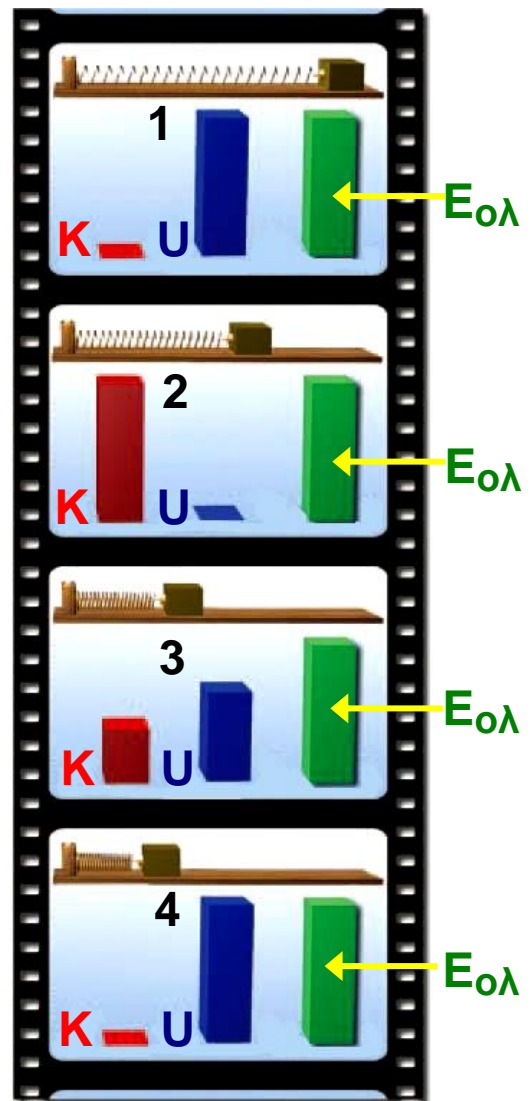
4.3 Ενέργεια και ταλάντωση

Είδαμε ότι, για να εκτελέσει ένα σώμα ταλάντωση, θα πρέπει σ' αυτό να ασκηθεί αρχικά μια δύναμη που θα το απομακρύνει από τη θέση ισορροπίας του. Η δύναμη αυτή, μέσω του έργου που παράγει, προσφέρει ενέργεια στο σώμα, η οποία αποθηκεύεται με τη μορφή δυναμικής ενέργειας.

Ποιες ενεργειακές μεταβολές συμβαίνουν κατά την ταλάντωση; Στην εικόνα 4.11 παριστάνονται διαδοχικά στιγμιότυπα της ταλάντωσης ενός σώματος. Στη θέση της μέγιστης απομάκρυνσης (1) το σώμα έχει τη μέγιστη δυναμική ενέργεια και δεν έχει κινητική. Καθώς αυτό κινείται προς τη θέση ισορροπίας (2) η παραμόρφωση του ελατηρίου μικραίνει και επομένως η δυναμική ενέργεια του σώματος μειώνεται. Η ταχύτητα του σώματος αυξάνεται, άρα και η κινητική ενέργειά του. Στη θέση ισορροπίας (2) η κινητική ενέργεια γίνεται μέγιστη, ενώ η δυναμική του μηδενίζεται. Καθώς το σώμα απομακρύνεται από τη θέση ισορροπίας και κατευθύνεται προς τη θέση της μέγιστης απομάκρυνσης (3) αυξάνεται η δυναμική του ενέργεια και ελαττώνεται η κινητική. Στη θέση της μέγιστης απομάκρυνσης (4) μηδενίζεται η κινητική ενέργεια και η δυναμική γίνεται μέγιστη. Κατά τη διάρκεια, λοιπόν, μιας ταλάντωσης πραγματοποιείται περιοδικά μετατροπή της δυναμικής ενέργειας σε κινητική και αντίστροφα.

Εικόνα 4.11
Στιγμιότυπο 1:

Το σώμα βρίσκεται στη μέγιστη απομάκρυνση από τη θέση ισορροπίας. Έχει μόνο δυναμική ενέργεια. **Στιγμιότυπο 2:** Το σώμα βρίσκεται στη θέση ισορροπίας, η δυναμική ενέργεια έχει μετατραπεί εξ ολοκλήρου σε κινητική. **Στιγμιότυπο 3:** Το σώμα βρίσκεται σε μια ενδιάμεση θέση, έχει δυναμική και κινητική ενέργεια. **Στιγμιότυπο 4:** Στην ακραία θέση 4, η κινητική ενέργεια του σώματος μετατρέπεται σε δυναμική.



Πώς εξηγείς ότι, όταν αφήσουμε ελεύθερη την κούνια, μετά από λίγο χρόνο αυτή σταματά;

Στην ιδανική περίπτωση που δεν υπάρχουν δυνάμεις τριβής, η μηχανική ενέργεια της ταλάντωσης, δηλαδή το άθροισμα της κινητικής και της δυναμικής ενέργειας, διατηρείται σταθερό. Σε πραγματικά όμως συστήματα όπως η κούνια, λόγω τριβών ή αντιστάσεων του αέρα η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σταδιακά σε θερμική. Επομένως το πλάτος της ταλάντωσης μειώνεται και η κούνια τελικά σταματά. Η ταλάντωση μπορεί να διατηρηθεί μόνο αν με κάποιο μηχανισμό προσφέρουμε διαρκώς ενέργεια στο σώμα (και αναπληρώνουμε την ενέργεια που μετατρέπεται σε θερμική

από τις τριβές) κατά τη διάρκεια που αυτό ταλαντώνεται.

Τι είναι ο χρόνος; Τι μετράει το ρολόι μας;

Σ' αυτό το ερώτημα δίνονται διαφορετικές απαντήσεις από τη σκοπιά της Φυσικής των Μαθηματικών, της Φιλοσοφίας, της Βιολογίας, της Ιστορίας ή της Τεχνολογίας.

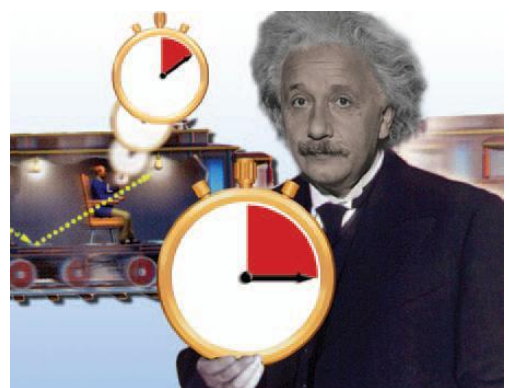
Ο χρόνος στη Φυσική

Για έναν Φυσικό χρόνος είναι ό,τι μετράει ένα «ακριβές ρολόι». Σύμφωνα με τις αισθήσεις μας ο χρόνος ρέει προς μια ορισμένη κατεύθυνση. Συγκεκριμένα το παρελθόν είναι ορισμένο, το μέλλον είναι ακαθόριστο, ενώ η πραγματικότητα βιώνεται στο παρόν. Αυτή όμως η αντίληψη που εκφράζει την κοινή λογική έρχεται σε αντίθεση με κάποιες απόψεις της σύγχρονης Φυσικής.

Θεωρία σχετικότητας και χρόνος

Σύμφωνα με τη θεωρία της σχετικότητας το χρονικό διάστημα ανάμεσα σε δύο γεγονότα είναι διαφορετικό για έναν ακίνητο και ένα κινούμενο παρατηρητή.

Ο Αϊνστάιν παρατηρεί το ρολόι που κρατά ο ίδιος και το ρολόι που κρατά ο επιβάτης ενός τρένου που κινείται με μεγάλη ταχύτητα. Ο χρόνος στο δικό του ρολόι δείχνει να κυλά πιο γρήγορα.



Ο χρόνος στα Μαθηματικά

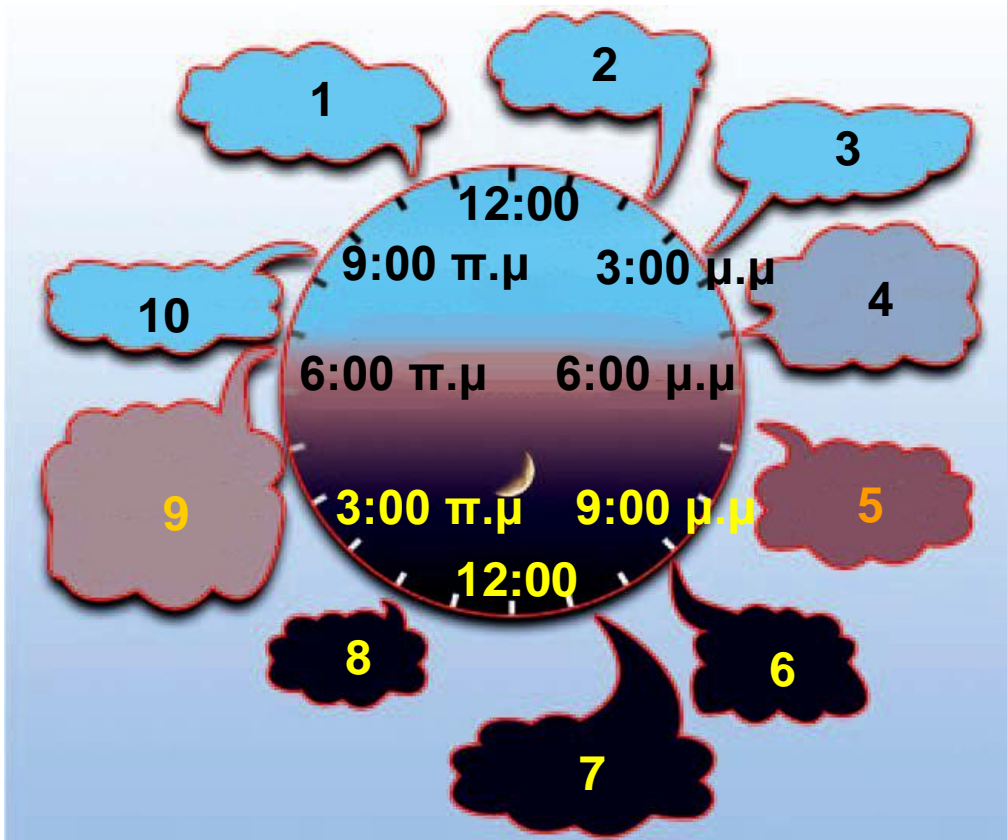
Οι μαθηματικοί θεωρούν ότι ο χρόνος είναι μια άλλη διάσταση, όπως το μήκος: **Η τέταρτη διάσταση.**

Ο χρόνος στην Ιστορία

Η Ιστορία εξελίσσεται από το παρελθόν προς το παρόν. Προηγείται χρονικά η ιστορία της Αρχαίας Ελλάδας, Ακολουθεί η Βυζαντινή περίοδος και έπεται η Επανάσταση του 1821 και η πορεία της νεότερης Ελλάδας.

Ο χρόνος στη Βιολογία

ΤΟ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟ ΜΑΣ ΡΟΛΟΪ



1. μεγάλος βαθμός εγρήγορσης
2. άριστος συντονισμός
3. ταχύτερος χρόνος αντίδρασης
4. μέγιστη καρδιαγγειακή επάρκεια και μυϊκή δύναμη.
5. υψηλότερη πίεση του αίματος
6. έναρξη έκκρισης μελατονίνης
7. περιορισμός των κινήσεων των σπλάχνων
8. βαθύς ύπνος

9. γρήγορη αύξηση της πίεσης, σταματά η έκκριση μελατονίνης

10. πιθανές κινήσεις των σπλάχνων

Αν παρατηρήσουμε τη φύση γύρω μας θα διαπιστώσουμε ότι ο χρόνος αποτελεί το πρωταρχικό πλαίσιο της ζωής που γίνεται αντιληπτό από όλους τους οργανισμούς. Το άνθος ανοίγει τα πέταλα του την αυγή, τα αποδημητικά πουλιά μεταναστεύουν νότια το φθινόπωρο, οι ακρίδες εμφανίζονται κατά σμήνη κάθε 17 χρόνια. Στον ανθρώπινο εγκέφαλο βιολογικά χρονόμετρα καταγράφουν τα δευτερόλεπτα, τα λεπτά, τις ώρες. Κέντρο στον ανθρώπινο εγκέφαλο συντονίζει πολλές σωματικές λειτουργίες με την εναλλαγή ημέρας και νύχτας. Στο διάγραμμα της προηγούμενης σελίδας δείχνονται σχηματικά οι ώρες της ημέρας και οι αντίστοιχες λειτουργίες του ανθρώπινου οργανισμού που βρίσκονται σε συντονισμό.

Πηγές: Times of our lives by Karen Wright, Scientific American, σελ. 45, Σεπτέμβριος 2002

The Tick-Tock of the Biological Clock by Michael W. Young, Scientific American, σελ. 48, Μάρτιος 2000.

Ερωτήσεις

ερωτήσεις

► Χρησιμοποίησε και εφάρμοσε τις έννοιες που έμαθες:

1. Συμπλήρωσε τις λέξεις που λείπουν από το παρακάτω κείμενο έτσι ώστε οι προτάσεις που προκύπτουν να είναι επιστημονικά ορθές:

α. Οι κινήσεις που επαναλαμβάνονται σε ίσα χρονικά διαστήματα ονομάζονται

β. Οι περιοδικές κινήσεις που πραγματοποιούνται ανάμεσα σε δύο ακραία σημεία της τροχιάς ονομάζονται

γ. Η μέγιστη απομάκρυνση από τη θέση ισορροπίας ονομάζεται της ταλάντωσης.

δ. Ο χρόνος μιας πλήρους ονομάζεται της ταλάντωσης (T). Ο αριθμός των πλήρων (N) που εκτελεί το σώμα σε χρονικό διάστημα Δt προς το αντίστοιχο χρονικό διάστημα ονομάζεται(f).

ε. Στη διάρκεια μιας ταλάντωσης πραγματοποιείται μετατροπή της ενέργειας σε και αντίστροφα και όταν δεν υπάρχουν η ενέργεια της ταλάντωσης διατηρείται σταθερή.

2. Στην εικόνα 4.7 σελίδα 70 απεικονίζεται το έμβολο μιας μηχανής. Κατά τη λειτουργία της αυτό εκτελεί ταλάντωση μεταξύ των A, B. Να χαρακτηρίσεις με Σ τις προτάσεις των οποίων το περιεχόμενο είναι επιστημονικά ορθό και με Λ αυτές που το περιεχόμενο τους είναι επιστημονικά λανθασμένο.

Σε χρόνο μιας περιόδου το έμβολο κινείται

α) από το A στο O στο B,

β) από το A στο O στο B στο O μέχρι το A,

γ) από το A στο O,

δ) από το A στο O στο A στο O στο B στο O,

ε) από το A στο B στο O στο A στο O στο B.

3. Να χαρακτηρίσεις με Σ τις προτάσεις των οποίων το περιεχόμενο είναι επιστημονικά ορθό και με Λ αυτές που το περιεχόμενο τους είναι επιστημονικά λανθασμένο.

α. Κάθε ταλάντωση είναι περιοδική κίνηση.

β. Όταν αυξάνεται η περίοδος μιας ταλάντωσης αυξάνεται και η συχνότητά της.

γ. Η μηχανική ενέργεια της ταλάντωσης διατηρείται σταθερή ανεξάρτητα από το ποιες δυνάμεις ασκούνται στο σώμα που ταλαντώνεται.

δ. Η περίοδος ενός απλού εκκρεμούς είναι ανεξάρτητη της μάζας και του πλάτους της ταλάντωσης, εφόσον αυτό είναι μικρό.

► **Εφάρμοσε τις γνώσεις σου και γράψε τεκμηριωμένες απαντήσεις στις ερωτήσεις που ακολουθούν:**

4. Στη εικόνα της επόμενης σελίδας εικονίζονται δύο παιδιά που κάνουν κούνια. Σε ποια θέση το κάθε παιδί έχει: α) Τη μέγιστη δυναμική ενέργεια και σε ποια τη μέγιστη κινητική; β) Τη μέγιστη ταχύτητα; Να δικαιολογήσεις τις απαντήσεις σου. Μπορείς να εξηγήσεις το γεγονός ότι η αιώρηση τελικά σταματά;



5. Ένας ερευνητής από τον Ισημερινό πρόκειται να εγκατασταθεί σε μια επιστημονική βάση στην Ανταρκτική προκειμένου να μελετήσει μια σειρά από φαινόμενα που αφορούν την τήξη των πάγων. Μαζί του μεταφέρει και ένα ρολόι εκκρεμές, δώρο της γιαγιάς του, το οποίο είναι ρυθμισμένο έτσι ώστε η ράβδος του να εκτελεί 1 πλήρη ταλάντωση σε 1 s.

Στις παρακάτω ερωτήσεις να κυκλώσεις το γράμμα που αντιστοιχεί στη σωστή απάντηση.

Όταν ο ερευνητής φθάνει στη βάση α) πρέπει να ρυθμίσει το ρολόι γιατί πηγαίνει μπροστά, β) πρέπει να ρυθμίσει το ρολόι γιατί πηγαίνει πίσω, γ) λόγω της πολύ χαμηλής θερμοκρασίας το ρολόι δεν λειτουργεί, δ) το ρολόι δεν χρειάζεται καμία ρύθμιση.

Να αιτιολογήσεις την επιλογή σου, λαμβάνοντας υπόψη ότι το μήκος της ράβδου του ρολογιού παραμένει σταθερό.

6. Ποιες δυνάμεις ασκούνται στο σφαιρίδιο ενός απλού εκκρεμούς; Γιατί όταν απομακρύνουμε το εκκρεμές από τη θέση ισορροπίας τείνει να επανέλθει σ' αυτή;

7. Πώς μεταβάλλεται η περίοδος ενός εκκρεμούς όταν:
α) αυξηθεί το μήκος του εκκρεμούς; β) αν ελαττωθεί το πλάτος της ταλάντωσής του; γ) αυξηθεί η μάζα του;

8. Να περιγράψεις τις μετατροπές ενέργειας που συμβαίνουν σ' ένα απλό εκκρεμές σε μια περίοδο αν αγνοηθούν η τριβή και η αντίσταση του αέρα.

9. Στην εικόνα 4.9 σελίδα 72 σε ποιες θέσεις το εκκρεμές έχει:

- α. μέγιστη δυναμική ενέργεια;
- β. μέγιστη κινητική ενέργεια;
- γ. μηδενική δυναμική ενέργεια;
- δ. μηδενική κινητική ενέργεια;

Ασκήσεις

ασκήσεις

1. Ένα εκκρεμές εκτελεί 60 πλήρεις ταλαντώσεις σε 2 λεπτά. Να βρεις την περίοδο και τη συχνότητα του εκκρεμούς.

2. Τα φτερά της μέλισσας, όταν αυτή πετάει, εκτελούν ταλάντωση με συχνότητα 225 Hz. Να υπολογίσεις πόσες φορές ανεβοκατεβαίνουν τα φτερά της στο 1 s καθώς και την περίοδο ταλάντωσης.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

- ❑ Περιοδικές ονομάζονται οι κινήσεις που επαναλαμβάνονται σε ίσα χρονικά διαστήματα.
- ❑ Περιοδικές κινήσεις ανάμεσα σε δύο ακραία σημεία της τροχιάς ονομάζονται ταλαντώσεις.
- ❑ Ο χρόνος μιας πλήρους ταλάντωσης ονομάζεται περίοδος της ταλάντωσης (T).
- ❑ Συχνότητα (f) ονομάζεται ο αριθμός των πλήρων ταλαντώσεων (N) που εκτελεί το σώμα σε χρονικό διάστημα Δt προς το αντίστοιχο χρονικό διάστημα και ισούται με το αντίστροφο της περιόδου.
- ❑ Πλάτος της ταλάντωσης ονομάζεται η μέγιστη απομάκρυνση από τη θέση ισορροπίας.
- ❑ Το απλό εκκρεμές αποτελείται από ένα μικρό σώμα κρεμασμένο από νήμα σταθερού μήκους.
- ❑ Η περίοδος του απλού εκκρεμούς, όταν εκτελεί ταλάντωση μικρού πλάτους, είναι ανεξάρτητη της μάζας του, αυξάνεται όταν αυξάνεται το μήκος του νήματος και εξαρτάται από τον τόπο στον οποίο βρίσκεται.
- ❑ Σε μια ταλάντωση η δυναμική ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική και αντίστροφα και αν δεν υπάρχουν τριβές η μηχανική ενέργεια διατηρείται σταθερή και επομένως και το πλάτος της ταλάντωσης.

ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΟΙ

Περιοδική κίνηση | Περίοδος | Εκκρεμές | Ταλάντωση |
Συχνότητα | Μέτρηση χρόνου | Δύναμη επαναφοράς |
Πλάτος |

μια μικρή ιστορία...

Το 1996 στους Ολυμπιακούς Αγώνες της Ατλάντα ο Έλληνας ιστιοπλόος Νίκος Κακλαμανάκης, που χαρακτηρίστηκε και ως «γιος του ανέμου», κατέκτησε την πρώτη θέση στο αγώνισμα της ιστιοσανίδας. Ένα χρόνο μετά με την ιστιοσανίδα του διέσχισε σε δύο ημέρες το Αιγαίο από την Αθήνα ως την Κρήτη με ταχύτητες που μερικές φορές πλησίαζαν και τα 80 km/h. Έτσι διαφήμισε και την υποψηφιότητα της Αθήνας για την ανάληψη των Ολυμπιακών Αγώνων το 2004. Το 1998, τρεις Έλληνες πέρασαν τον Ατλαντικό με τον ίδιο τρόπο. Τα κατάφεραν διασχίζοντας περίπου 2000 ναυτικά μίλια σε επτά ημέρες. Πως συνδέεται ο άνεμος με τα θαλάσσια κύματα και την κίνηση της ιστιοσανίδας;



Στο κεφάλαιο αυτό:

- Θα μελετήσεις τα μηχανικά κύματα και θα μάθεις ότι μεταφέρουν ενέργεια και όχι ύλη.
- Θα γνωρίσεις τα μεγέθη με τα οποία περιγράφουμε ένα κύμα και τη σχέση που τα συνδέει.
- Θα διαπιστώσεις ότι ο ήχος είναι ένα μηχανικό κύμα και θα γνωρίσεις τα υποκειμενικά και αντικειμενικά χαρακτηριστικά του.

ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΑΞΙΔΕΥΕΙ

Πολλές φορές μπορεί να παρακολούθησες στην τηλεόραση ή στην πραγματικότητα έναν αγώνα με ιστιοσανίδα το γνωστό surfing (σέρφινγκ) με ή χωρίς πανί. Θα παρατήρησες ότι, όταν ο αθλητής της ιστιοσανίδας κινείται «μαζί» με το κύμα, τότε μπορεί να αποκτήσει πολύ μεγάλη ταχύτητα, οπότε η κινητική του ενέργεια αυξάνεται σημαντικά (εικόνα 5.1). Θα είδες αρκετές φορές τα κύματα της θάλασσας να μεταφέρουν και να εναποθέτουν στην ακτή διάφορα αντικείμενα.

Τι είναι το κύμα της θάλασσας; Μετατοπίζεται το νερό μαζί με το κύμα; Υπάρχει σχέση ανάμεσα στα θαλάσσια κύματα, τα σεισμικά κύματα, τον ήχο, το φως;

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναζητήσουμε απαντήσεις σ' αυτά τα ερωτήματα.

Εικόνα 5.1
Μέσω του κύματος μεταφέρεται ενέργεια στον αθλητή και η ταχύτητά του αυξάνεται.



5.1 Μηχανικά κύματα

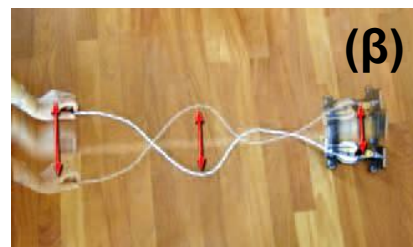
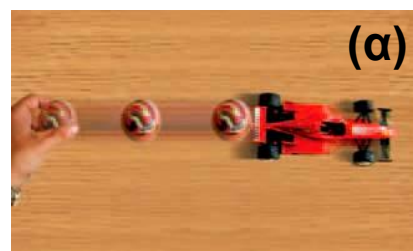
Αν ρίξεις μια μπάλα προς ένα αμαξάκι και συγκρουστεί με αυτό, το αμαξάκι θα μετακινηθεί. Μετά τη σύγκρουση το αμαξάκι αποκτά κινητική ενέργεια (εικόνα

5.2α). Με αυτό τον τρόπο μεταφέρεται κινητική ενέργεια από την μπάλα στο αμαξάκι. Αν δέσεις στο αμαξάκι ένα σκοινί, το τεντώσεις και κουνήσεις την ελεύθερη άκρη του δεξιά ή αριστερά, το αμαξάκι θα μετακινηθεί (εικόνα 5.2β). Το σκοινί θα παραμένει στη θέση του. Το αμαξάκι όμως αποκτά κινητική ενέργεια.

Εικόνα 5.2 Δύο διαφορετικοί τρόποι διάδοσης της ενέργειας

(α) Η μπάλα μεταφέρει ενέργεια στο αμαξάκι κατά την κρούση.

(β) Το κύμα μεταφέρει ενέργεια μέσω του σκοινιού στο αμαξάκι.



Με ποιο τρόπο μεταφέρθηκε, στην περίπτωση αυτή, ενέργεια στο αμαξάκι;

Λέμε ότι μέσω του σκοινιού διαδίδεται ένα κύμα το οποίο μεταφέρει ενέργεια. Κύματα μπορούν να δημιουργηθούν όταν ένα σύστημα, όπως για παράδειγμα ο αέρας, η επιφάνεια της θάλασσας, ένα σκοινί, ο φλοιός της γης κ.λπ., διαταράσσεται από την κατάσταση ισορροπίας του και ενέργεια ταξιδεύει από μια περιοχή του συστήματος σε μια άλλη.

Τα κύματα στο νερό, τα κύματα που διαδίδονται κατά μήκος ενός σκοινιού ή ελατηρίου, τα ηχητικά και τα σεισμικά κύματα ονομάζονται **μηχανικά κύματα** γιατί μεταφέρουν μηχανική ενέργεια. Στα κύματα αυτά η ενέργεια μεταφέρεται μέσω του νερού, του αέρα, των πετρωμάτων στο εσωτερικό της γης, καθώς και των ελατηρίων ή των σκοινιών. Η δημιουργία κάθε είδους μηχανικού κύματος απαιτεί κάποιο υλικό μέσα στο οποίο

μεταφέρεται η μηχανική ενέργεια. Το υλικό αυτό ονομάζεται μέσο διάδοσης του κύματος.

Εικόνα 5.3
Εγκάρσιο κύμα σε ελατήριο
Οι σπείρες του ελατηρίου κινούνται κάθετα προς τη διεύθυνση κατά την οποία διαδίδεται η διαταραχή (το κύμα).



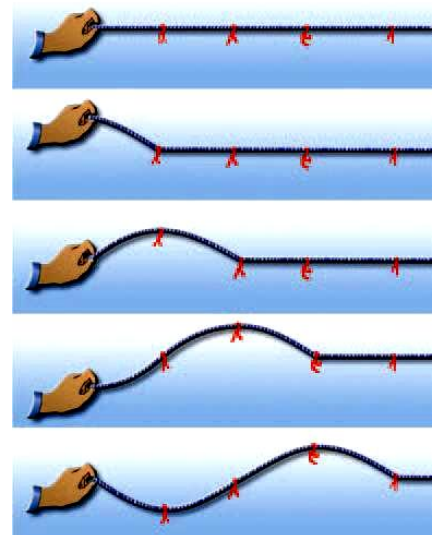
Όστε τα μηχανικά κύματα έχουν δύο βασικά κοινά χαρακτηριστικά:

- α. Διαδίδονται μέσα στα υλικά μέσα.**
- β. Μεταφέρουν μηχανική ενέργεια.**

Είδη κυμάτων

Πώς κινούνται τα σωματίδια του υλικού μέσου στο οποίο διαδίδεται ένα μηχανικό κύμα;

Εικόνα 5.4 Εγκάρσιο κύμα σε σχοινί
Οι κόκκινες κορδέλες (σωματίδια του μέσου) αρχικά ισορροπούν. Καθώς το χέρι κινεί το ένα άκρο του σχοινοῦ, αυτό απομακρύνεται από τη θέση ισορροπίας και εκτελεί τελικά ταλάντωση γύρω από αυτή.



Διακρίνουμε δύο βασικούς τύπους κυμάτων ανάλογα με τον τρόπο κίνησης των σωματιδίων του μέσου διάδοσης.

Αν ταλαντώσεις το ένα άκρο τεντωμένου ελατηρίου που βρίσκεται πάνω σε λείο πάτωμα, κάθετα στον άξονά του, παρατηρείς ότι η παραμόρφωση/διαταραχή «ταξιδεύει» κατά μήκος του ελατηρίου (εικόνα 5.3). Οι σπείρες όμως του ελατηρίου κινούνται κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος.

Εικόνα 5.5 Διάμηκες κύμα σε ελατήριο



Οι σπείρες κινούνται παράλληλα προς τη διεύθυνση που διαδίδεται η διαταραχή. Έτσι σε άλλες θέσεις πλησιάζουν και πυκνώνουν, ενώ σε άλλες θέσεις απομακρύνονται και αραιώνουν.

Αν κουνήσεις δεξιά ή αριστερά το άκρο οριζόντιου τεντωμένου σχοινιού, η παραμόρφωση ταξιδεύει κατά μήκος του σχοινιού. Διαδοχικά τμήματα του σχοινιού κάνουν την ίδια κίνηση που προκαλέσαμε στο άκρο του αλλά σε επόμενους χρόνους. Τα σωματίδια του σχοινιού μετατοπίζονται κάθετα στη διεύθυνσή του (εικόνα 5.4).

Στα δύο προηγούμενα παραδείγματα τα σωματίδια του μέσου ταλαντώνονται κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Ένα τέτοιο κύμα ονομάζεται εγκάρσιο κύμα. Τα κύματα στις χορδές της κιθάρας ή του πιάνου είναι επίσης εγκάρσια κύματα.

Σε ελατήριο είναι δυνατόν να διαδοθεί και ένας άλλος τύπος κύματος: Αν στο ένα άκρο του ελατηρίου πλησιάσουμε με τα δύο μας χέρια τις σπείρες του ελατηρίου έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα πύκνωμα σπειρών και μετά τις αφήσουμε ελεύθερες, τότε το πύκνω-

μα των σπειρών διαδίδεται κατά μήκος του ελατηρίου (εικόνα 5.5).

**Εικόνα 5.6.
Διάμηκες κύμα σε στήλη
αέρα.**



Καθώς το έμβολο κινείται, εξαναγκάζει τα μόρια του αέρα που βρίσκονται πίσω από αυτό σε άλλες θέσεις να πλησιάσουν και να πυκνώσουν, ενώ σε άλλες θέσεις να απομακρυνθούν και να αραιώσουν. Έτσι κατά μήκος του σωλήνα δημιουργούνται πυκνώματα και αραιώματα.

Στην εικόνα 5.6 βλέπεις ένα σωλήνα ο οποίος είναι κλειστός στο ένα άκρο του, ενώ το άλλο κλείνεται με ένα έμβολο. Αν μετακινήσεις το έμβολο μπρος ή πίσω, τότε στο χώρο μέσα στο σωλήνα που είναι ακριβώς πίσω από το έμβολο δημιουργούνται στρώματα αέρα μεγάλης και μικρής πίεσης ή μεγάλης και μικρής πυκνότητας αντίστοιχα (πυκνώματα ή αραιώματα). Τα πυκνώματα και αραιώματα αυτά διαδίδονται κατά μήκος του σωλήνα μέσα στο αέριο.

Σ' αυτά τα παραδείγματα τα σωματίδια του μέσου μέσα στο οποίο διαδίδεται το κύμα ταλαντώνονται κατά την ίδια διεύθυνση που διαδίδεται το κύμα. Ένα τέτοιο κύμα ονομάζεται **διάμηκες κύμα**. Παράδειγμα διαμήκους κύματος είναι τα ηχητικά κύματα. Τα διαμήκη κύματα διαδίδονται στα στερεά, στα υγρά και στα αέρια, ενώ τα εγκάρσια διαδίδονται μόνο στα στερεά.

Ένας άλλος τύπος κύματος: το επιφανειακό κύμα.

Αν και τα κύματα που δημιουργούνται στο βάθος μιας λίμνης ή της θάλασσας είναι διαμήκη, τα κύματα που δημιουργούνται στην επιφάνεια του νερού δεν μοιάζουν με αυτά. Καθώς διαδίδεται ένα κύμα στην επι-

φάνεια ενός υγρού, τα σωματίδια κινούνται τόσο παράλληλα όσο και κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος, με τελικό αποτέλεσμα οι τροχιές τους να είναι κυκλικές. Το κύμα που διαδίδεται με αυτό τον τρόπο αποτελεί ένα μίγμα εγκαρσίων και διαμηκών κυμάτων.



Εικόνα 5.7

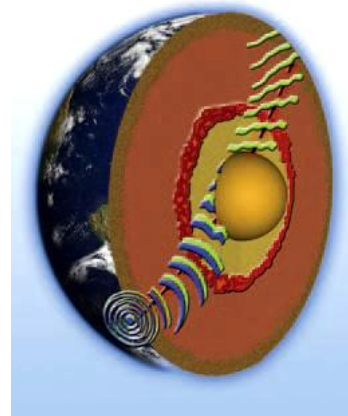
Τα επιφανειακά κύματα

Η πτώση της σταγόνας στο νερό δημιουργεί επιφανειακά κύματα.

Σεισμικά κύματα

Φακός του εσωτερικού της γης

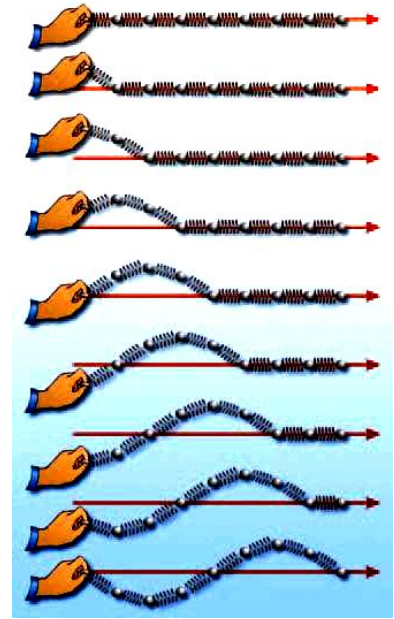
Ένας σεισμός παράγει δύο είδη κυμάτων: Πρωτεύοντα κύματα (κύματα P) που είναι διαμήκη (παριστάνονται με πράσινο χρώμα στην εικόνα) και δευτερεύοντα κύματα (κύματα S) που είναι εγκάρσια (παριστάνονται με μπλε χρώμα στην εικόνα).



Οι γεωφυσικοί, μελετώντας τα σεισμικά κύματα με τη βοήθεια των σειсмоγράφων, βρήκαν ότι τα διαμήκη κύματα διέρχονται από τον πυρήνα της γης, ενώ τα εγκάρσια όχι. Από αυτό το δεδομένο συμπίεραν ότι ο πυρήνας της γης είναι σε ρευστή κατάσταση.

5.2 Κύμα και Ενέργεια

Πώς παράγονται τα κύματα; Με ποιο τρόπο διαδίδονται σ' ένα μέσο;



Εικόνα 5.8

Μηχανισμός διάδοσης του κύματος
Ο παλμός ταξιδεύει κατά μήκος του ελατηρίου θέτοντας σε ταλάντωση όλα τα σφαιρίδια.

Τα κύματα της θάλασσας δημιουργούνται συνήθως εξαιτίας των ανέμων. Η μηχανική τους ενέργεια προέρχεται από την κινητική ενέργεια των ανέμων (αιολική ενέργεια).

Κράτησε με το χέρι σου το άκρο ενός ελατηρίου όπως φαίνεται στην εικόνα 5.8. Το ελατήριο βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας. Τίναξε απότομα το άκρο και επανάφερε το γρήγορα στη αρχική του θέση. Τότε θα δεις έναν παλμό, μια διαταραχή, να ταξιδεύει από το ένα άκρο του ελατηρίου στο άλλο. Κάθε σφαιρίδιο του ελατηρίου βρισκόταν αρχικά σε ισορροπία. Όταν φθάσει σ' αυτό ο παλμός, τότε μετατοπίζεται από τη θέση όπου ισορροπούσε. Η διαταραχή δεν είναι παρά η μετατόπιση των σφαιριδίων του ελατηρίου από τη θέση ισορροπίας τους.

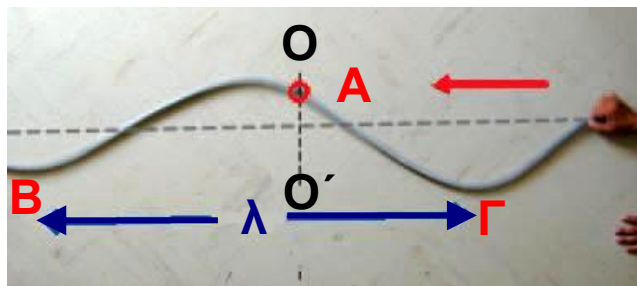
Μεταξύ των γειτονικών σπειρών του ελατηρίου ασκούνται δυνάμεις. Οι δυνάμεις αυτές επαναφέρουν κάθε σφαιρίδιο στην αρχική θέση ισορροπίας του. Ταυτόχρονα μέσω του έργου που παράγουν μεταφέρουν ενέργεια από σφαιρίδιο σε σφαιρίδιο. Έτσι κάθε σφαιρίδιο θα μετατοπιστεί με τη σειρά του από τη θέση ισορροπίας του.

Ο παλμός ταξιδεύει μεταφέροντας ενέργεια. Τα σφαιρίδια μετατοπίζονται και όταν η ενέργεια που προσέλαβαν μεταφερθεί στα επόμενα επιστρέφουν στην αρχική θέση ισορροπίας τους. Έτσι αυτή η κίνηση διαδίδεται τελικά σε όλα τα σφαιρίδια του ελατηρίου. Λέμε τότε ότι ένα κύμα διαδίδεται κατά μήκος του ελατηρίου. Το κύμα μεταφέρει ενέργεια σε κάθε σφαιρίδιο του ελατηρίου χωρίς να μεταφέρει ύλη. Μια πηγή που ταλαντώνεται μπορεί να παράγει κύμα. Η ενέργεια που μεταφέρει το κύμα προσφέρεται από την πηγή.

5.3 Χαρακτηριστικά μεγέθη του κύματος

Για να περιγράψουμε ένα κύμα χρησιμοποιούμε ορισμένα χαρακτηριστικά φυσικά μεγέθη: τη **συχνότητα**, την **περίοδο**, το **πλάτος** ταλάντωσης των σωματιδίων, την **ταχύτητα** και το **μήκος κύματος**.

Εικόνα 5.9
Εγκάρσια κύματα και μήκος κύματος



Τα Β και Γ έχουν την ίδια χρονική στιγμή την ίδια απομάκρυνση από τη θέση ισορροπίας (αρχική θέση του σχοινιού) $B\Gamma = \lambda$.

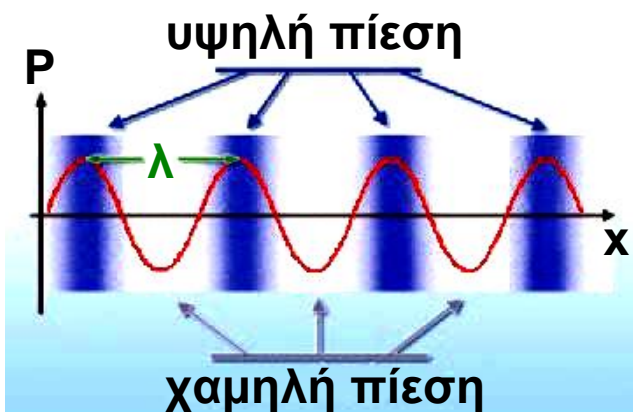
Στην εικόνα 5.9 παριστάνεται ένα σκοινί κατά μήκος του οποίου διαδίδεται ένα κύμα. Αν παρατηρήσουμε την κίνηση ενός σημείου του σχοινιού (Α), διαπιστώνουμε ότι αυτό ταλαντώνεται μεταξύ των θέσεων ΟΟ', ενώ η διαταραχή προχωρεί σταθερά προς τα αριστερά. Τα σωματίδια από τα οποία αποτελείται το σκοινί εκτε-

λούν ταλαντώσεις. Το ίδιο συμβαίνει και με τα σωματίδια κάθε άλλου μέσου στο οποίο διαδίδεται ένα παρόμοιο κύμα. Η περίοδος T και συχνότητα f αυτών των ταλαντώσεων ονομάζεται περίοδος και συχνότητα του κύματος αντίστοιχα.

Εικόνα 5.10

Διαμήκη κύματα και μήκος κύματος

Το μήκος κύματος λ είναι ίσο με την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών πυκνωμάτων ή αραιωμάτων. Η καμπύλη παριστάνει τις μεταβολές της πίεσης.



Αν φωτογραφήσουμε το παλλόμενο σκοινί μια ορισμένη χρονική στιγμή, τότε λαμβάνουμε ένα στιγμιότυπο ολόκληρου του κύματος (εικόνα 5.9). Παρατηρώντας το στιγμιότυπο του κύματος συμπεραίνουμε ότι η μορφή του επαναλαμβάνεται ίδια σε ίσες αποστάσεις. Η μικρότερη απόσταση μεταξύ δύο σημείων με την ίδια απομάκρυνση από τη θέση ισορροπίας και την ίδια κατεύθυνση κίνησης ονομάζεται **μήκος κύματος** και συμβολίζεται με λ .

Σ' ένα εγκάρσιο κύμα σχηματίζονται «**όρη**» και «**κοιλιάδες**». Το μήκος κύματος ισούται με την απόσταση δύο διαδοχικών κοιλιάδων ή δύο διαδοχικών ορέων.

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα ρευστό μέσο στο οποίο διαδίδεται ένα **διάμηκες κύμα**. Στην προηγούμενη παράγραφο αναφέραμε ότι σ' αυτή την περίπτωση δημιουργούνται περιοχές αυξημένης πίεσης (πυκνότητας) (**πυκνώματα**) και περιοχές μειωμένης πίεσης

(αραιώματα). Το μήκος κύματος ισούται με την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών πυκνωμάτων ή αραιωμάτων (εικόνα 5.10).

Μια χορδή μπορεί να διεγερθεί αν τη χτυπήσουμε με μικρή ή μεγάλη δύναμη. Ένας ήχος μπορεί να είναι δυνατός ή ασθενής. Ένα θαλάσσιο κύμα μπορεί να είναι ένα γιγάντιο παλιρροϊκό κύμα (τσουνάμι) ή ένας ελαφρύς κυματισμός. Στα παραδείγματα αυτά λέμε ότι τα κύματα έχουν διαφορετικό πλάτος.

Δραστηριότητα

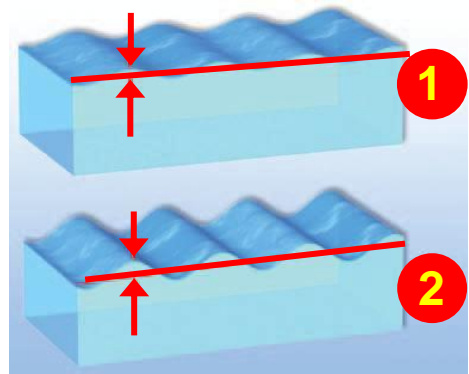
1ο μέρος: Δημιουργία εγκάρσιων κυμάτων

- ▶ Δέσε ένα κομμάτι κορδέλας ή νήματος στο μέσον ενός μακριού σπειροειδούς ελατηρίου.
- ▶ Με ένα φίλο σου τέντωσε το ελατήριο στο διπλάσιο του αρχικού του μήκους. Ενώ ο φίλος σου κρατάει το ένα άκρο του ελατηρίου, εσύ κούνησε γρήγορα το άλλο άκρο πλάγια ώστε να δώσεις έναν παλμό ενέργειας στο ελατήριο.
- ▶ Παρακολούθησε προσεκτικά την κορδέλα. Μετατοπίζεται η κορδέλα κατά τη διεύθυνση του ελατηρίου;
- ▶ Περίγραψε την κίνησή της.

2ο μέρος: Δημιουργία διαμήκων κυμάτων

- ▶ Πιάσε σφιχτά τη μια άκρη του ελατηρίου κυματισμών με τα δύο σου χέρια ώστε να απέχουν μεταξύ τους περίπου 30 cm.
- ▶ Μετακίνησε τα χέρια σου ώστε οι σπείρες του ελατηρίου που βρίσκονται μεταξύ τους να πλησιάσουν. Έτσι δημιουργείται μια περιοχή μεγαλύτερης πυκνότητας σπειρών (πύκνωμα). Ελευθέρωσε τις σπείρες. Το πύκνωμα θα κινηθεί κατά μήκος του ελατηρίου.
- ▶ Παρακολούθησε προσεκτικά την κορδέλα και περίγραψε την κίνησή της.

Πλάτος του κύματος ονομάζεται το πλάτος της ταλάντωσης των σωματιδίων του μέσου στο οποίο διαδίδεται το κύμα. Το πλάτος του κύματος σχετίζεται με το ποσό της ενέργειας που μεταφέρεται μέσω του κύματος. Όσο μεγαλύτερο είναι το πλάτος τόσο μεγαλύτερη είναι και η ενέργεια που μεταφέρεται. Τα μεγάλα θαλάσσια κύματα μεταφέρουν στον ίδιο χρόνο περισσότερη ενέργεια απ' ό,τι τα μικρά (εικόνα 5.11).



Εικόνα 5.11

Ενέργεια και πλάτος του κύματος

Το κύμα που έχει μεγαλύτερο πλάτος (2) μεταφέρει μεγαλύτερο ποσό ενέργειας από το κύμα με το μικρότερο πλάτος (1).

Πόσο γρήγορα διαδίδεται ένα κύμα;

Σε χρόνο μιας περιόδου T η απόσταση που διανύει η διαταραχή είναι ίση με ένα μήκος κύματος λ (εικόνες 5.9 και 5.10).

Σύμφωνα με τον ορισμό της ταχύτητας u του κύματος

$u = \frac{\Delta x}{\Delta t}$, αν $\Delta t = T$, τότε $\Delta x = \lambda$, οπότε προκύπτει:

$u = \frac{\lambda}{T}$. Επειδή όμως $T = \frac{1}{f}$, όπου f η συχνότητα, η

προηγούμενη σχέση παίρνει τη μορφή:

$$u = \lambda \cdot f$$

Η σχέση αυτή ονομάζεται **θεμελιώδης νόμος της κυματικής**: Η ταχύτητα διάδοσης του κύματος σ' ένα μέσο ισούται με το γινόμενο της συχνότητάς του επί το μήκος κύματος.

Η ταχύτητα:

- Δεν εξαρτάται από το πλάτος του κύματος.
- Εξαρτάται από τις ιδιότητες του μέσου διάδοσης. Στο ίδιο μέσο διάδοσης τα εγκάρσια κύματα διαδίδονται με μικρότερη ταχύτητα απ' ό,τι τα διαμήκη.

Δραστηριότητα

Ταχύτητα διάδοσης του κύματος

- ▶ Άπλωσε στο πάτωμα ένα μακρύ ελατήριο μήκους 4 ή 5 μέτρων και κράτα το ένα του άκρο. Ένας φίλος σου ας κρατήσει το άλλο άκρο του ελατηρίου ώστε να διατηρείται τεντωμένο.
- ▶ Μετακίνησε απότομα το άκρο του ελατηρίου που κρατάς, κάθετα στο ελατήριο, και επανάφερε το στην αρχική του θέση. Τι είδους παλμός σχηματίζεται;
- ▶ Μέτρησε το χρόνο που χρειάζεται ο παλμός για να ταξιδέψει κατά μήκος του ελατηρίου.
- ▶ Άλλαξε το πλάτος του παλμού και μέτρησε το χρόνο άφιξής του στο άλλο άκρο του ελατηρίου. Υπολόγισε την ταχύτητα διάδοσης του κύματος.

Παράδειγμα 5.1

Στις 27 Μαρτίου 1964 στον υποθαλάσσιο χώρο στον κόλπο Βαλντέζ στην Αλάσκα εκδηλώθηκε σεισμός 8,4 Ρίχτερ ο οποίος προκάλεσε καταστροφικά παλιρροϊκά κύματα (τσουνάμι). Να υπολογίσεις τη συχνότητα των κυμάτων αυτών αν γνωρίζεις ότι το μήκος κύματος ήταν 150 km και η ταχύτητα που διαδίδονταν στον ωκεανό μακριά από τις ακτές ήταν 540 km/h.

Δεδομένα

μήκος κύματος: $\lambda = 150 \text{ km}$

Ταχύτητα διάδοσης του κύματος: $u = 540 \text{ km/h}$

Ζητούμενα

Συχνότητα f σε Hz

Βασική εξίσωση

$$u_{\text{κύματος}} = \lambda \cdot f$$

Λύση

Βήμα 1: Μετατρέπω τα δεδομένα σε μονάδες του S.I.:

$$\lambda = 150 \text{ km} \text{ ή } \lambda = 150 \text{ km} \cdot 1.000 \frac{\text{m}}{\text{km}} \text{ ή } \lambda = 15 \cdot 10^4 \text{ m}$$

$$u = 540 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 540 \cdot \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} \text{ ή } u = 540 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Βήμα 2: Εφαρμόζω τη βασική εξίσωση:

$$u_{\text{κύματος}} = \lambda \cdot f \Leftrightarrow f = \frac{u_{\text{κύματος}}}{\lambda} \Leftrightarrow f = \frac{540 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{15 \cdot 10^4 \text{ m}} \Leftrightarrow$$

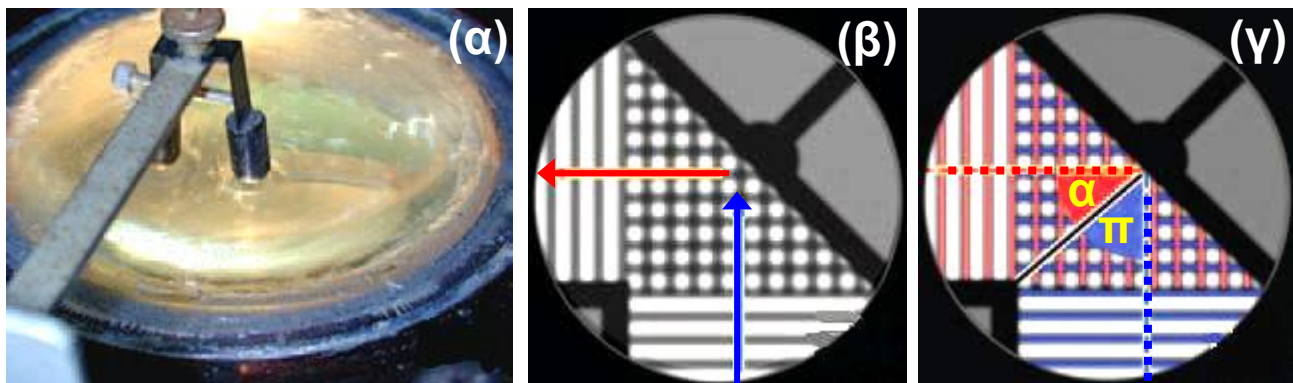
$$\Leftrightarrow f = 10^{-3} \text{ Hz}$$

Κυματικά φαινόμενα: Ανάκλαση και διάθλαση των μηχανικών κυμάτων

Τι θα συμβεί όταν ένα μηχανικό κύμα, καθώς διαδίδεται, συναντήσει ένα εμπόδιο ή αλλάξει μέσο διάδοσης;

Μπορούμε να μελετήσουμε την αλλαγή στη διεύθυνση διάδοσης των κυμάτων όταν αυτά συναντήσουν

ένα εμπόδιο ή αλλάζουν μέσο διάδοσης (ανάκλαση και διάθλαση) με τη συσκευή κυματισμών. Μια τέτοια συσκευή περιέχει ένα λεπτό στρώμα νερού. Μια ακίδα που ταλαντώνεται παράγει κύματα ορισμένης συχνότητας. Μια λάμπα πάνω από τη συσκευή παράγει σκιές κάτω από τη συσκευή που δείχνουν τις θέσεις των κορυφών των κυμάτων (εικόνα 5.12α).



Εικόνα 5.12

(α) Συσκευή κυματισμών. (β) Ανάκλαση μηχανικού κύματος στη συσκευή κυματισμών. (γ) Με μπλε γραμμές παριστάνονται οι κορυφές του προσπίπτοντος κύματος με κόκκινες του ανακλώμενου. Με την μπλε διακεκομμένη γραμμή παριστάνεται η προσπίπτουσα ακτίνα και με την κόκκινη η ανακλώμενη. Παρατήρησε ότι η γωνία πρόσπτωσης είναι ίση με τη γωνία ανάκλασης.

Ανάκλαση

Αν ένα κύμα κατευθύνεται προς ένα εμπόδιο, δηλαδή προς ένα επίπεδο στερεό τοίχωμα, τότε το κύμα θα ανακλαστεί. Στην εικόνα 5.12β το αρχικό κύμα κινείται προς τα πάνω (μπλε βέλος), ενώ το ανακλώμενο κύμα κινείται προς τα αριστερά (κόκκινο βέλος). Η κατεύθυνση κίνησης των κυμάτων που διαδίδονται σε δύο ή τρεις διαστάσεις συχνά παριστάνεται με ακτίνες (σκεφθείτε τις φωτεινές ακτίνες) (εικόνα 5.12γ). Όμως προσοχή! Μια ακτίνα δείχνει μόνο την κατεύθυνση διάδο-

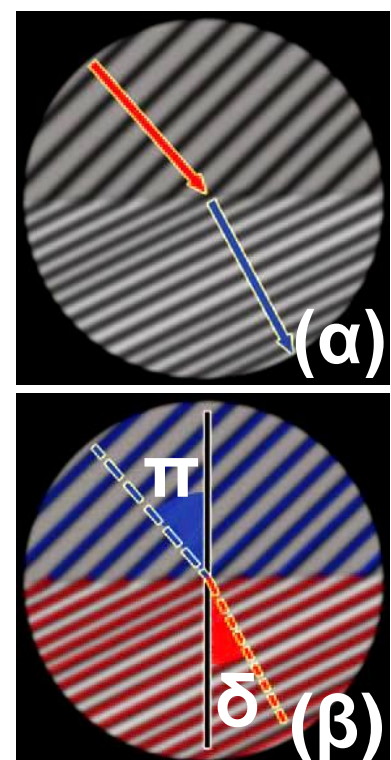
σης του κύματος και όχι το πραγματικό κύμα. Κατά τη μελέτη της ανάκλασης των κυμάτων σχεδιάζουμε την ευθεία που είναι κάθετη στο εμπόδιο και ορίζουμε τη γωνία πρόσπτωσης π και τη γωνία ανάκλασης α . Με τη μέτρηση των γωνιών αυτών προκύπτει ο νόμος της ανάκλασης σύμφωνα με τον οποίο η γωνία πρόσπτωσης ισούται με τη γωνία ανάκλασης (εικόνα 5.12γ).

Διάθλαση

Με τη βοήθεια μιας συσκευής κυματισμών μπορούμε να μελετήσουμε επίσης τη συμπεριφορά των κυμάτων καθώς διαδίδονται από ένα μέσο σε ένα άλλο. Τοποθετούμε μια γυάλινη πλάκα ημικυκλικού σχήματος στον πυθμένα της συσκευής (εικόνα 5.13α). Το νερό πάνω από την πλάκα έχει μικρότερο βάθος συγκριτικά με το υπόλοιπο νερό της συσκευής. Η ταχύτητα των κυμάτων εξαρτάται από το βάθος του νερού. Έτσι το νερό πάνω από την πλάκα συμπεριφέρεται ως ένα διαφορετικό μέσο. Καθώς το κύμα διαδίδεται από το

Εικόνα 5.13

(α) Διάθλαση μηχανικού κύματος στη συσκευή κυματισμών. (β) Με μπλε γραμμές παριστάνονται οι κορυφές του αρχικού κύματος, ενώ με κόκκινες οι κορυφές του διαθλώμενου κύματος. Με την μπλε διακεκομμένη γραμμή παριστάνεται η προσπίπτουσα ακτίνα και με την κόκκινη η διαθλώμενη.



βαθύ προς το ρηχό νερό, η διεύθυνσή που διαδίδεται αλλάζει και το μήκος κύματος μειώνεται (εικόνα 5.13β). Επειδή το κύμα στο ρηχό νερό προέρχεται από το κύμα που διαδίδεται στο βαθύ νερό, η συχνότητά τους είναι η ίδια. Από την εξίσωση $u = \lambda \cdot f$ η μείωση του μήκους κύματος σημαίνει ότι η ταχύτητα είναι μικρότερη σε νερό μικρότερου βάθους. Τα κύματα πλησιάζουν τη διαχωριστική επιφάνεια με μια αρχική γωνία, δηλαδή η διεύθυνση της ακτίνας δεν είναι παράλληλη με την κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια. Σ' αυτή την περίπτωση όχι μόνο ελαττώνεται το μήκος κύματος, αλλά επίσης αλλάζει η διεύθυνση διάδοσης των κυμάτων (εικόνα 5.13β). Το φαινόμενο της μεταβολής της διεύθυνσης διάδοσης των κυμάτων στο σύνορο μεταξύ δύο διαφορετικών μέσων ονομάζεται **διάθλαση**.

Διάθλαση¹ επιφανειακών κυμάτων στη θάλασσα. Διακρίνεται η αλλαγή στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος (κόκκινα βέλη).



1.

Μπορείς να σκεφθείς για ποιο λόγο μεταβάλλεται η διεύθυνση διάδοσης του κύματος;

5.4 Ήχος

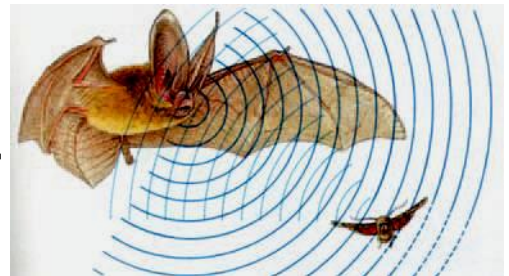
Πώς παράγεται ένας ήχος; Πότε είναι ευχάριστος και πότε ενοχλητικός; Τι είναι αυτό που κάνει χαρακτηριστική την ομιλία κάθε ανθρώπου; Πώς προσανατολίζονται οι νυ-

χτερίδες τη νύχτα; Πώς τα ηχοπετάσματα σταματούν το θόρυβο;

Απαντήσεις σ' αυτά τα ερωτήματα θα βρούμε στις επόμενες παραγράφους.

Εικόνα 5.14

Νυχτερίδα: το ζωντανό ηχητικό ραντάρ. Η νυκτερίδα εκπέμπει υπερήχους τους οποίους χρησιμοποιεί για να προσανατολίζεται και να εντοπίζει το θήραμά της.



Ο ήχος και η μουσική αποτελούν σημαντικά στοιχεία της ανθρώπινης εμπειρίας. Οι πρωτόγονοι άνθρωποι παρήγαν ήχους όχι μόνο με το στόμα τους αλλά και με τα τύμπανα, τα κρόταλα και τις σφυρίχτρες. Τα έγχορδα όργανα έχουν ιστορία τουλάχιστον 3.000 ετών.

Τα έμβια όντα χρησιμοποιούν τους ήχους για να συλλέξουν πληροφορίες που αφορούν το περιβάλλον τους και για να επικοινωνήσουν μεταξύ τους. Ορισμένα ζώα, για να γνωρίσουν το περιβάλλον τους και να επιβιώσουν, χρησιμοποιούν ήχους πολύ μεγάλης συχνότητας (υπέρηχους) τους οποίους οι άνθρωποι δεν αντιλαμβάνονται. Τέτοιους ήχους για παράδειγμα εκπέμπουν οι νυχτερίδες όταν κυνηγούν έντομα. Αυτά τα ηχητικά κύματα ανακλώμενα στο έντομο βοηθούν τη νυχτερίδα να διαπιστώσει το μέγεθός του, τη θέση του, την απόστασή του και τη σχετική ταχύτητά του (εικόνα 5.14). Με παρόμοιο τρόπο καταφέρνουν να διακρίνουν τα έντομα από τη βλάστηση όταν κυνηγούν στα δάση. Τα δελφίνια εκπέμπουν υπερήχους υπό μορφή σφυριγμάτων. Τα ανακλώμενα ηχητικά κύματα παρέχουν στο δελφίνι πληροφορίες για το περιβάλλον του σε αποστάσεις μεγαλύτερες απ' ό,τι του επιτρέπει η όρασή του

μέσα στο νερό. Τα δελφίνια χρησιμοποιούν αυτές τις πληροφορίες κυρίως για να εντοπίσουν μικρά ψάρια με τα οποία τρέφονται.

Δραστηριότητα

Παραγωγή ήχου

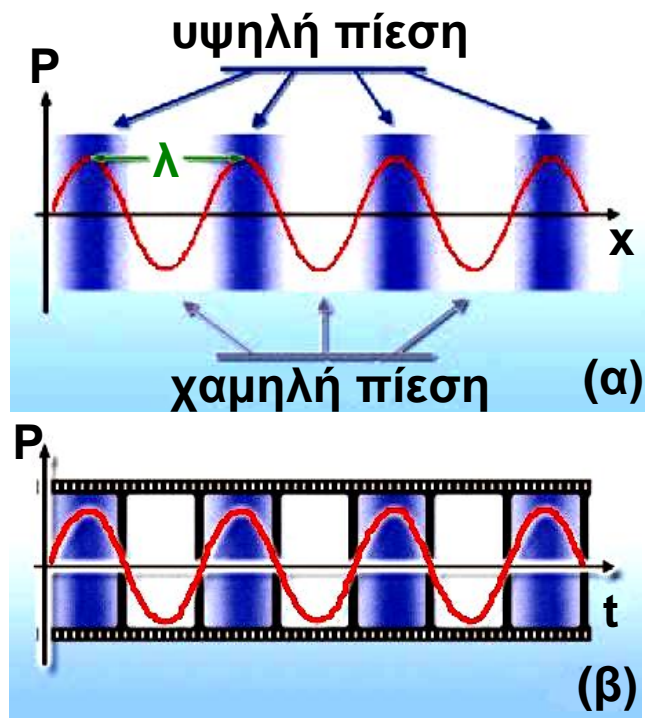
- ▶ Τοποθέτησε ένα πλαστικό χάρακα πάνω στο θρανίο σου, ώστε ο μισός να προεξέχει. Κράτα σταθερά το μέρος του χάρακα που είναι πάνω στο θρανίο.
- ▶ Τράβηξε προς τα κάτω την ελεύθερη άκρη του χάρακα και άφησέ την ελεύθερη.
- ▶ Περιέγραψε και χαρακτήρισε την κίνηση που εκτελεί ο χάρακας. Παράγεται ήχος;
- ▶ Αύξησε το μήκος του χάρακα που προεξέχει και επανάλαβε τα ίδια.
- ▶ Ο ήχος που παράγεται τώρα από το χάρακα είναι ίδιος με τον προηγούμενο;

Ηχητικά κύματα

Όταν ένα σώμα ταλαντώνεται στον αέρα, αλληλεπιδρά με τα μόρια του και προκαλεί την κίνησή τους. Τα μόρια πλησιάζουν ή απομακρύνονται μεταξύ τους, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται πυκνώματα και αραιώματα και η πίεση του αέρα να μεταβάλλεται περιοδικά γύρω από μια μέση τιμή (εικόνα 5.15).

Μέσω των αλληλεπιδράσεων των μορίων μεταφέρεται ενέργεια από μόριο σε μόριο και τελικά ενέργεια από το σώμα που ταλαντώνεται διαδίδεται στο χώρο. Επομένως οι ταλαντώσεις των σωμάτων στον αέρα δημιουργούν μηχανικά κύματα τα οποία διαδίδονται σε αυτόν και ονομάζονται ηχητικά κύματα. Επειδή τα μό-

Εικόνα 5.15
 (α) Η μεταβολή της πίεσης του αέρα στη διεύθυνση του ηχητικού κύματος σε μια ορισμένη χρονική στιγμή.
 (β) Η μεταβολή της πίεσης του αέρα σε συνάρτηση με το χρόνο σε ορισμένη απόσταση από την πηγή.



ρια του αέρα κινούνται κατά τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος, τα ηχητικά κύματα είναι **διαμήκη κύματα**. Όταν ηχητικά κύματα που η συχνότητά τους είναι μεγαλύτερη από 20 Hz και μικρότερη από 20.000 Hz φθάσουν στο ανθρώπινο αφτί προκαλούν το αίσθημα της ακοής και ονομάζονται απλώς ήχος. Κύματα με συχνότητα μικρότερη των 20 Hz ονομάζονται **υπόηχοι**, ενώ με συχνότητα μεγαλύτερη των 20.000 Hz ονομάζονται **υπέρηχοι**.

Τα ηχητικά κύματα έχουν τα ίδια τα κοινά χαρακτηριστικά με τα μηχανικά κύματα: πλάτος, συχνότητα, μήκος κύματος και ταχύτητα διάδοσης. Το μήκος κύματος ενός ηχητικού κύματος είναι η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών πυκνωμάτων (περιοχών μέγιστης πίεσης) ή αραιωμάτων (περιοχών ελάχιστης πίεσης). Η συχνότητα και το μήκος κύματος συνδέονται με την ταχύτητα διάδοσης μέσω της γνωστής εξίσωσης της κυματικής

$$u = \lambda \cdot f$$

Πού διαδίδονται τα ηχητικά κύματα;

Όταν βυθίσουμε το κεφάλι μας στο νερό της θάλασσας ακούμε τον ήχο της μηχανής κάθε βάρκας που κινείται κοντά μας. Οι Ινδιάνοι άκουγαν από μεγάλη απόσταση τον ήχο που δημιουργούσε η μηχανή του τρένου φέρνοντας το αφτί τους σε επαφή με τις γραμμές. Όμως ο ήχος του κουδουνιού δεν ακούγεται αν το τοποθετήσουμε μέσα σε χώρο από τον οποίο έχουμε αφαιρέσει τον αέρα με αντλία. Τα ηχητικά κύματα διαδίδονται σε όλα τα μέσα: στερεά, υγρά, αέρια. Δεν διαδίδονται στο κενό γιατί εκεί δεν υπάρχουν μόρια για να αλληλεπιδράσουν ώστε να μεταφερθεί η μηχανική ενέργεια του ηχητικού κύματος. Η ταχύτητα διάδοσης των ηχητικών κυμάτων είναι μεγαλύτερη στα στερεά απ' ό,τι στα υγρά και στα υγρά μεγαλύτερη απ' ό,τι στα αέρια. Επίσης η

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1	
Η ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΑ ΥΛΙΚΑ ΣΕ m/s	
Αέρια	
Αέρας (20° C)	344
Ήλιο (20° C)	999
Υδρογόνο (20° C)	1.330
Υγρά	
Υγρό ήλιο (269° C)	211
Υδράργυρος (20° C)	1.451
Νερό (0° C)	1.402
Νερό (20° C)	1.482
Νερό (100° C)	1.543
Στερεά	
Κόκαλο	3.445
Ορείχαλκος	3.480
Γυαλί pyrex	5.170
Χάλυβας	5.790

ταχύτητα τους αυξάνεται όταν αυξάνεται η θερμοκρασία του μέσου μέσα στο οποίο διαδίδονται. Στον πίνακα 5.1 φαίνονται οι ταχύτητες διάδοσης του ήχου σε διάφορα υλικά.

Εικόνα 5.16

(α) Με το κόκκινο χρώμα παριστάνεται το ηχητικό κύμα που παράγεται από το παιδί. (β) Με το κίτρινο το ηχητικό κύμα που προέρχεται από την πλαγιά (ηχώ). Το ηχητικό κύμα ανακλάται στην πλαγιά του βουνού και επιστρέφει.



Παράδειγμα 5.2

Ένα δελφίνι εκπέμπει υπέρηχους συχνότητας $2,5 \cdot 10^5$ Hz. Αν οι υπέρηχοι διαδίδονται στο θαλασσινό νερό με ταχύτητα 1.533 m/s, να υπολογίσεις το μήκος κύματος του υπέρηχου στη θάλασσα.

Δεδομένα	
Συχνότητα $f = 2,5 \cdot 10^5$ Hz Ταχύτητα διάδοσης του ήχου: $u = 1,533$ m/s	
Ζητούμενα	Μήκος κύματος: λ
Βασική εξίσωση	$u_{\text{κύματος}} = \lambda \cdot f$

Λύση

$$u_{\text{κύματος}} = \lambda \cdot f \quad \text{ή} \quad \lambda = \frac{u_{\text{κύματος}}}{f} \quad \text{ή} \quad \lambda = \frac{1530 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2,5 \cdot 10^5 \text{ Hz}}$$

$$\text{ή} \quad \lambda = 0,00612 \text{ m} \quad \text{ή} \quad \lambda = 6,12 \text{ mm}$$

Κυματικά φαινόμενα του ήχου

Τα ηχητικά κύματα παρουσιάζουν τις γενικές ιδιότητες των άλλων κυμάτων. Έτσι ανακλώνται από αντικείμενα όπως είναι οι τοίχοι του δωματίου. Το φαινόμενο της επανάληψης ενός ήχου λόγω ανάκλασης ενός ηχητικού κύματος ονομάζεται ηχώ. Ο χρόνος που χρειάζεται ώστε ο ήχος να επιστρέψει στο σημείο όπου βρίσκεται η πηγή του κύματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της απόστασης ανάμεσα στην πηγή και τον ανακλαστήρα. Εφαρμογή της ανάκλασης του ήχου είναι η κατασκευή ηχοπετασμάτων στις εθνικές οδούς ή και στα αυλές κάποιων σχολικών κτιρίων.

5.5 Υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου

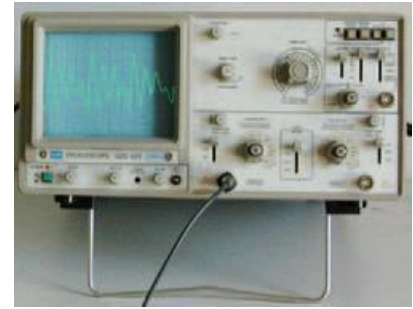
Τα ηχητικά κύματα ανιχνεύονται με δέκτες τους οποίους θέτουν σε ταλάντωση. Παράδειγμα τέτοιου δέκτη είναι η μεμβράνη που έχουν τα μικρόφωνα ή το τύμπανο του αυτιού μας. Συνδέοντας κατάλληλα το μικρόφωνο με παλμογράφο μπορούμε να έχουμε και μια απεικόνιση του ηχητικού κύματος που αυτό ανιχνεύει (εικόνα 5.17).

Ο άνθρωπος ανιχνεύει τους ήχους με τα τύμπανα των αφτιών του και τους αντιλαμβάνεται με τον εγκέφαλό του. Τα χαρακτηριστικά που συνδέονται με τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε τον ήχο ονομάζονται υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου και είναι το ύψος, η ακουστότητα και η χροιά.

Ύψος του ήχου ονομάζεται το υποκειμενικό χαρακτηριστικό σύμφωνα με το οποίο διακρίνουμε έναν οξύ ή ψηλό ήχο από ένα βαρύ ή χαμηλό ήχο. Το ύψος καθορίζεται από τη συχνότητα του ηχητικού κύματος. Όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα τόσο ψηλότερος είναι ο ήχος.

Εικόνα 5.17

Το ηχητικό κύμα γίνεται αντιληπτό από τον άνθρωπο. Επίσης μπορεί να παρασταθεί στην οθόνη μιας συσκευής που ονομάζεται παλμογράφος. Στο εργαστήριο της φυσικής του σχολείου σας υπάρχει μια τέτοια συσκευή.



Εικόνα 5.18

Ο τζιτζίκας, αν και παράγει ήχους από 7.000 - 100.000 Hz, τρίβοντας τα πόδια του σε μια σκληρή μεμβράνη στη κοιλιά του, ακούει ελάχιστους από αυτούς.



Τα όρια συχνότητας των ακουστών ήχων διαφέρουν ελαφρά από άνθρωπο σε άνθρωπο. Για παράδειγμα, ένας νέος άνθρωπος αντιλαμβάνεται βαρύτερους και οξύτερους ήχους απ' ό,τι ένας ηλικιωμένος. Σημαντικότερη διαφορά παρατηρείται μεταξύ των διαφορετικών ειδών ζώων, όπως φαίνεται στον πίνακα 5.2.

Αν χτυπήσουμε δυνατά το διαπασών (εικόνα 5.19) ή αν τραβήξουμε πιο δυνατά τη χορδή μιας κιθάρας, τότε αυτά πάλλονται με μεγαλύτερο πλάτος. Συγχρόνως ακούμε ισχυρότερο ήχο. **Ακουστότητα** του ήχου λέγεται το χαρακτηριστικό με το οποίο ξεχωρίζουμε τους ήχους σε ισχυρούς και λιγότερο ισχυρούς, ασθενείς κ.λπ. Η ακουστότητα καθορίζεται κυρίως από την ένταση του ηχητικού κύματος, δηλαδή από την ηχητική ενέργεια που φθάνει στο αφτί μας κάθε δευτερόλεπτο. Η ένταση του ήχου είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερο είναι το πλάτος του ηχητικού κύματος. Η ακουστότητα εκτός

από την ένταση εξαρτάται και από τη συχνότητα του ήχου. Το ανθρώπινο αφτί είναι πιο ευαίσθητο στις μεσαίες συχνότητες (περίπου 1.000 Hz) απ' ό,τι στις χαμηλές και τις υψηλές συχνότητες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2

ΟΡΙΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΑΚΟΥΣΤΩΝ ΗΧΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΑ ΕΜΒΙΑ ΟΝΤΑ



16 - 20.000 Hz



15 - 50.000 Hz



60 - 65.000 Hz



100 - 15.000 Hz



150 - 150.000 Hz



100 - 120.000 Hz

Εικόνα 5.19

Όταν το διαπασών ταλαντώνεται με μεγαλύτερο πλάτος, η ένταση του ήχου που παράγει αυξάνεται.



Για τη μέτρηση της στάθμης της έντασης ενός ήχου χρησιμοποιείται η κλίμακα ντεσιμπέλ (decibel, dB) η οποία βασίζεται στις μεταβολές της πίεσης του αέρα, δηλαδή το πλάτος του κύματος. Τα μηδέν ντεσιμπέλ αντιστοιχούν σε ήχο που μόλις ακούγεται, ενώ ο ήχος 120 dB προκαλεί πόνο στα αφτιά. Μια αύξηση της στάθμης της έντασης κατά 10 dB αντιστοιχεί σε ήχο έντασης 10 φορές μεγαλύτερης, κατά 20 dB αντιστοιχεί σε ήχο έντασης $100 = 10^2$ φορές μεγαλύτερης έντασης και κατά 30 dB αντιστοιχεί σε ήχο έντασης $1000 = 10^3$ φορές μεγαλύτερης. Ήχοι που διαφέρουν κατά 10 dB οι περισσότεροι άνθρωποι τους αντιλαμβάνονται ως ήχους διπλάσιας ακουστότητας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΗΧΟΥ



10 dB



30 dB



50 dB



70 dB



90 dB

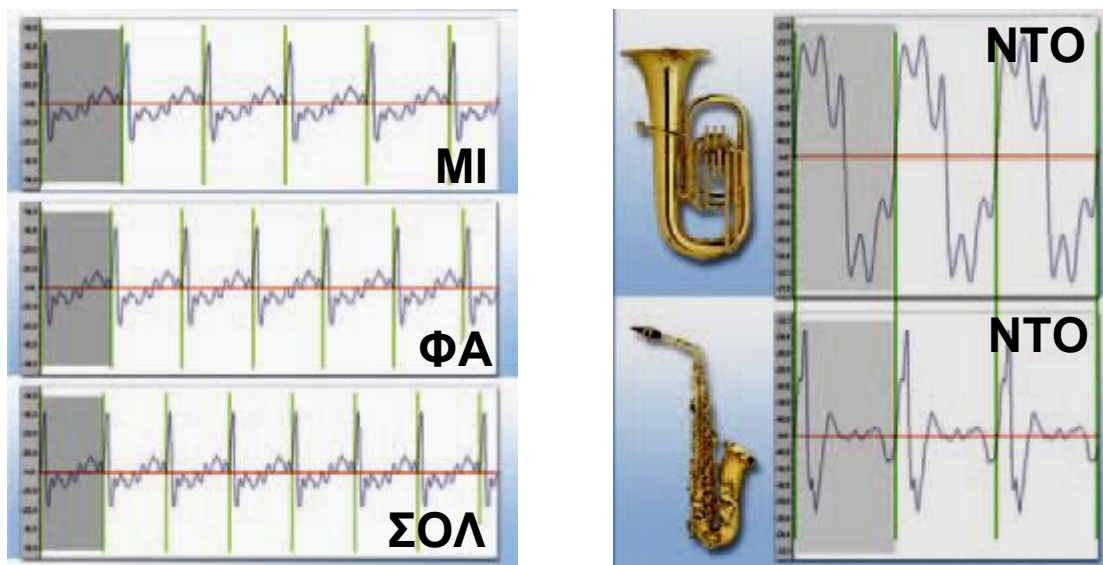


120 dB

Μπορούμε να ξεχωρίσουμε δύο ήχους που προέρχονται από δύο διαφορετικά μουσικά όργανα, λόγω χάρη βιολί και κλαρίνο, ακόμα και αν οι ήχοι έχουν το ίδιο ύψος και τη ίδια ακουστότητα. Το υποκειμενικό χαρακτηριστικό με το οποίο διακρίνουμε τις πηγές των ήχων λέγεται **χροιά**.

Από τι όμως εξαρτάται η χροιά;

Αν με τη βοήθεια ενός μικροφώνου απεικονίσουμε στην οθόνη του παλμογράφου τους ήχους που προέρχονται από διαφορετικά όργανα τα οποία παίζουν την ίδια νότα, παρατηρούμε ότι οι μορφές τους είναι διαφορετικές (εικόνα 5.20β). Η χροιά είναι εκείνο το χαρακτηριστικό του ήχου χάρη στο οποίο μπορούμε να αναγνωρίσουμε τους ανθρώπους από τις φωνές τους.



Εικόνα 5.20 Νότες και Φυσική:
εικόνες στην οθόνη του παλμογράφου (α) Από διαφορετικές νότες που προέρχονται από το ίδιο όργανο. (β) Της ίδιας νότας που προέρχεται από διαφορετικά μουσικά όργανα.

► Χρησιμοποίησε και εφάρμοσε τις έννοιες που έμαθες:

Μηχανικά κύματα, κύμα και ενέργεια, χαρακτηριστικά μεγέθη του κύματος

1. Συμπλήρωσε τις λέξεις που λείπουν από το παρακάτω κείμενο έτσι ώστε οι προτάσεις που προκύπτουν να είναι επιστημονικά ορθές:

α. Κύματα δημιουργούνται όταν ένα σύστημα
 από την κατάσταση
 και..... μεταφέρεται από μια περιοχή του συστήματος σε μια άλλη. Τα κύματα που μεταφέρουν μηχανική ενέργεια ονομάζονταικύματα. Τα κύματα έχουν δύο βασικά κοινά χαρακτηριστικά: α) Διαδίδονται μέσα στα μέσα και όχι στο β) Μεταφέρουνχωρίς να μεταφέρουν

β. Ανάλογα με τον τρόπο των σωματιδίων του μέσου ενός κύματος διακρίνουμε δύο βασικούς τύπους κυμάτων: α) Το κύμα όπου τατου μέσου ταλαντώνονται κάθετα στη του κύματος. Τα κύματα αυτά διαδίδονται μόνο στα σώματα και κατά τη διάδοσή τους σχηματίζονται και β) Το κύμα όπου τα του μέσου ταλαντώνονται παράλληλα στη του κύματος. Τα κύματα αυτά διαδίδονται στα , και σώματα και κατά τη διάδοσή τους σχηματίζονται και

γ. Στο εγκάρσιο κύμα το ισούται με την απόσταση δύο διαδοχικών κοιλάδων ή ορέων. Στο διάμηκες κύμα το ισούται με την απόσταση δύο διαδοχικών

δ. Η ταχύτητα διάδοσης του κύματος σ' ένα μέσο ισούται με το της επί το Η σχέση αυτή ονομάζεται της Η ταχύτητα δεν εξαρτάται από το του κύματος. Εξαρτάται από τις του μέσου διάδοσης. Στο ίδιο μέσο διάδοσης τα κύματα διαδίδονται με ταχύτητα απ' ό,τι τα διαμήκη.

2. Ένας οικοδόμος κρατάει στο χέρι του μια σιδερένια ράβδο μήκους 3 m. Με ένα σφυρί χτυπάει το ένα άκρο της ράβδου αρχικά σε διεύθυνση κάθετη στη συνέχεια παράλληλη προς τον άξονα της ράβδου. Να αναφέρεις το είδος των κυμάτων που δημιουργούνται στη ράβδο σε κάθε περίπτωση και να περιγράψεις το μηχανισμό διάδοσής τους.

3. Να αντιστοιχίσεις τα είδη των κυμάτων του πίνακα της επόμενης σελίδας με τον τρόπο κίνησης των σωματιδίων του ελαστικού μέσου.

Είδος κύματος	Τρόπος ταλάντωσης
Εγκάρσιο κύμα	Ταλάντωση παράλληλη προς τη διεύθυνση διάδοσης
Διάμηκες κύμα	Ταλάντωση κάθετη προς τη διεύθυνση διάδοσης

4. Να χαρακτηρίσεις με Σ τις προτάσεις των οποίων το περιεχόμενο είναι επιστημονικά ορθό και με Λ αυτές

που το περιεχόμενο τους είναι επιστημονικά λανθασμένο.

α. Τα κύματα μεταφέρουν ύλη και ενέργεια.

β. Το μήκος κύματος ισούται με την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών ορέων ή κοιλάδων.

γ. Η ταχύτητα του κύματος εξαρτάται από το πλάτος του κύματος.

δ. Όσο μεγαλύτερο είναι το πλάτος τόσο περισσότερη ενέργεια μεταφέρεται από ένα κύμα.

ε. Στο ίδιο μέσο διάδοσης τα εγκάρσια κύματα διαδίδονται με μεγαλύτερη ταχύτητα απ' ό,τι τα διαμήκη.

Ήχος

5. Συμπλήρωσε τις λέξεις που λείπουν από το παρακάτω κείμενο έτσι ώστε οι προτάσεις που προκύπτουν να είναι επιστημονικά ορθές:

α. Οι ταλαντώσεις των σωμάτων στον αέρα δημιουργούν κύματα τα οποία ονομάζονται κύματα και είναι Όταν αυτά τα κύματα φθάσουν στο ανθρώπινο αφτί και η συχνότητά τους είναι από 20 Hz και από 20.000 Hz προκαλούν το αίσθημα της και ονομάζονται
..... Αν η συχνότητά τους είναι μικρότερη των 20 Hz ονομάζονται ενώ μεγαλύτερη των 20.000 Hz ονομάζονται

β. Τα ηχητικά κύματα διαδίδονται σε , και Δεν διαδίδονται στο

6. Κάπου μακριά μας εκδηλώνεται μια πολύ μεγάλη έκρηξη.

Στις παρακάτω ερωτήσεις να κυκλώσεις το γράμμα που αντιστοιχεί στη σωστή απάντηση. Πρώτα αισθανόμαστε τη δόνηση του εδάφους και μετά ακούμε τον κρότο διότι:

- α. Ο αέρας απορροφά πολύ μεγάλο μέρος της ενέργειας του κύματος απ' ό,τι απορροφά το έδαφος.
- β. Τα παραγόμενα κύματα διαδίδονται με πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα στο έδαφος απ' ό,τι στον αέρα.
- γ. Η συχνότητα των κυμάτων που παράγονται στο έδαφος είναι πολύ μεγαλύτερη από τη συχνότητα των κυμάτων στον αέρα.
- δ. Τα μόρια του αέρα ταλαντώνονται με πολύ μικρότερο πλάτος απ' ό,τι οι δομικοί λίθοι του εδάφους επειδή οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους είναι πολύ ασθενέστερες.
- ε. Καμία από τις παραπάνω προτάσεις δεν είναι επιστημονικά έγκυρη.

7. Η σειρήνα ενός περιπολικού που βρίσκεται πολύ κοντά στην ακτή παράγει ήχο συχνότητας 1.200 Hz. Ο ήχος γίνεται αντιληπτός από τη Μαρία που παίζει στην παραλία και το Σάββα που εκείνη τη στιγμή κάνει ένα μακροβούτι. Στις παρακάτω ερωτήσεις να κυκλώσεις το γράμμα που αντιστοιχεί στη σωστή απάντηση. Η συχνότητα του ήχου που αντιλαμβάνεται η Μαρία είναι:

- α) μικρότερη,
- β) μεγαλύτερη,
- γ) ίδια με αυτή που αντιλαμβάνεται ο Σάββας.

► **Εφάρμοσε τις γνώσεις σου και γράψε τεκμηριωμένες απαντήσεις για τις ερωτήσεις που ακολουθούν.**

Μηχανικά κύματα, κύμα και ενέργεια, χαρακτηριστικά μεγέθη του κύματος

8. Στο σκοινί που παριστάνεται στην εικόνα 5.2 δημιουργείται ένα κύμα. Να χαρακτηρίσεις το είδος του κύματος αν γνωρίζεις ότι αυτό το κύμα μεταφέρει ενέργεια (έτσι προκαλείται η κίνηση του αμαξιδίου). Από πού προέρχεται αυτή η ενέργεια;

9. Να χαρακτηρίσεις το είδος της κίνησης που εκτελούν τα σωματίδια ενός μέσου στο οποίο διαδίδεται ένα μηχανικό κύμα. Ποια είναι τα χαρακτηριστικά μεγέθη αυτής της κίνησης, πώς συμβολίζονται και πώς συνδέονται με την περίοδο, τη συχνότητα και το πλάτος του κύματος;

10. Η απόσταση μεταξύ των σημείων Β και Γ του σχοινιού που παριστάνεται στην εικόνα 5.9 είναι 80 cm. Πόση απόσταση διανύει το κύμα που διαδίδεται στο σχοινί σε χρόνο μιας περιόδου;

11. Ένα κύμα διαδίδεται σε κάποιο μέσο. Αν διπλασιαστεί η συχνότητα του κύματος, πώς μεταβάλλεται: α) η περίοδος του κύματος; β) το μήκος του κύματος;

12. Κατά τη διάδοση ενός κύματος τι παριστάνουμε με την ακτίνα; Όταν ένα κύμα προσπίπτει πάνω σ' ένα εμπόδιο η αρχική και η τελική ακτίνα σχηματίζουν με την κάθετη στο εμπόδιο από μια γωνία. Πώς λέγονται αυτές οι γωνίες και με ποια σχέση συνδέονται;

13. Σ' ένα υποθαλάσσιο σεισμό το παραγόμενο σεισμικό κύμα διαδίδεται από το στερεό φλοιό της γης στα νερά του ωκεανού. Από τις παρακάτω προτάσεις να επιλέξεις τη σωστή. Όταν το σεισμικό κύμα διέρχεται από τον πυθμένα στο νερό, τότε μεταβάλλεται: α) μόνο η ταχύτητα διάδοσης, β) μόνο η συχνότητα, γ) μόνο το μήκος κύματος, δ) η ταχύτητα και η συχνότητα, ε) η ταχύτητα και το μήκος κύματος, στ) συχνότητα και το μήκος κύματος, ζ) και τα τρία, η) κανένα από τα παραπάνω.

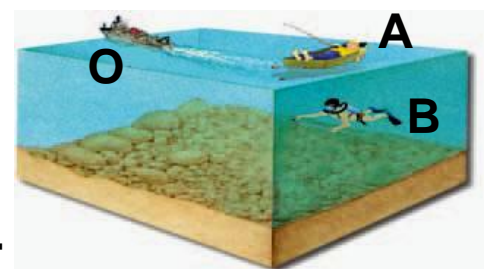
Ήχος

14. Στο εργαστήριο Φυσικής του σχολείου σας πιθανόν να υπάρχει ένας γυάλινος κώδωνας σαν αυτόν που παριστάνεται στην εικόνα της επόμενης σελίδας. Με τη βοήθεια μιας αντλίας που προσαρμόζεται στη βάση του κώδωνα μπορούμε να αφαιρέσουμε τον αέρα από το εσωτερικό του. Ο καθηγητής της Φυσικής ζητά από τη συμμαθήτριά σας τη Χαρούλα να ρυθμίσει ένα ξυπνητήρι έτσι ώστε να χτυπήσει ύστερα από 15 λεπτά και στη συνέχεια το τοποθετεί στο εσωτερικό του κώδωνα λέγοντάς σας ότι μόλις ακουστεί ο ήχος του θα σας επιτρέψει να βγείτε στο προαύλιο του σχολείου και να παίξετε. Ύστερα από 30 λεπτά κάποιοι από τους συμμαθητές σας διαμαρτύρονται στη Χαρούλα επισημαίνοντάς της ότι έκανε λάθος στη ρύθμιση του ρολογιού επειδή μέχρι εκείνη τη στιγμή δεν ακούστηκε κανένας ήχος. Εκείνη επιμένει ότι η ρύθμιση ήταν σωστή και ζητά από τον καθηγητή να της δώσει το ξυπνητήρι για να το επιβεβαιώσει. Μόλις ο καθηγητής αφαιρεί το κάλυμμα του κώδωνα το ξυπνητήρι ακούγεται να ηχεί. Πώς μπορείτε να εξηγήσετε αυτό που συνέβη;



15. Πώς εξηγείται το γεγονός ότι για να διαδοθεί ο ήχος απαιτείται η ύπαρξη ενός μέσου;

16. Στη θέση A βρίσκεται ένας ψαράς με τη βάρκα του και στη θέση B ένας ψαροντουφεκάς. Και οι δυο αντιλαμβάνονται το πλοίο που πλησιάζει από τον ήχο που προέρ-



χεται από τις μηχανές του. Αν γνωρίζεις ότι $AO = OB$ και αφού συμβουλευθείς τον πίνακα 5.1, μπορείς να σκεφθείς ποιος από τους δύο αντελήφθη γρηγορότερα το πλοίο; Να αιτιολογήσεις την απάντησή σου.

17. Μια σειρήνα εκπέμπει ήχο. Πώς μεταβάλλεται η ταχύτητα του ήχου όταν αυξάνεται η θερμοκρασία του αέρα; Πώς επηρεάζονται η συχνότητα και το μήκος κύματος του ήχου της σειρήνας;

18. Στη δεύτερη στήλη του πίνακα 5.4 να γράψεις τα υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου έτσι ώστε να αντιστοιχούν στα αντικειμενικά χαρακτηριστικά της πρώτης στήλης;

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4	
Αντικειμενικό χαρακτηριστικό	Υποκειμενικό χαρακτηριστικό
α. Συχνότητα	
β. Ένταση	
γ. Κυματομορφή	

19. Ρυθμίζοντας ένα διακόπτη αυξάνουμε το ύψος του ήχου που παράγει μια σειρήνα. Στις παρακάτω ερωτήσεις να κυκλώσεις το γράμμα που αντιστοιχεί στη σωστή απάντηση.

i. Η ταχύτητα διάδοσης του ήχου: α) θα αυξηθεί, β) θα μειωθεί, γ) θα παραμείνει ίδια.

ii. Η συχνότητα: α) θα αυξηθεί, β) θα μειωθεί, γ) θα παραμείνει ίδια.

iii. Το μήκος κύματος: α) θα αυξηθεί, β) θα μειωθεί, γ) θα παραμείνει ίδιο.

iv. Το πλάτος του ηχητικού κύματος: α) θα αυξηθεί, β) θα μειωθεί, γ) θα παραμείνει ίδιο.

20. Ένα συγκρότημα ροκ παίζει σε μια στάθμη έντασης 80 dB. Πόσες φορές ισχυρότερο ήχο αντιλαμβάνεται ένας ακροατής όταν η στάθμη έντασης ανέβει: α) στα 90 dB; β) 100 dB;

Ασκήσεις

ασκήσεις

Μηχανικά κύματα, κύμα και ενέργεια, χαρακτηριστικά μεγέθη του κύματος

- 1.** Η απόσταση των σημείων Β και Γ του σχοινιού που παριστάνεται στην εικόνα 5.9 είναι 80 cm, ενώ η συχνότητα που ταλαντώνεται το χέρι είναι 5 Hz. Να υπολογίσεις την ταχύτητα διάδοσης του κύματος στο σκοινί.
- 2.** Σε μια λεκάνη που περιέχει νερό ρίχνεις στην επιφάνειά του με τη βοήθεια ενός σταγονόμετρου 2 σταγόνες νερού το δευτερόλεπτο οπότε σχηματίζονται κύματα νερού. Μετράς την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών ορέων και την βρίσκεις 10 cm. Να υπολογίσεις την περίοδο και την ταχύτητα των κυμάτων.
- 3.** Ένα παιδί ρίχνει 24 μικρές πετρούλες το λεπτό στα ήρεμα νερά μιας λίμνης. Παρατηρεί μια μπάλα που βρίσκεται σε απόσταση 20 m από το σημείο που ρίχνει τις πετρούλες την οποία βλέπει να κινείται ύστερα από 10 s από τη στιγμή που η πρώτη πέτρα έπεσε στο νερό. Να υπολογίσεις την περίοδο και το μήκος κύματος των κυμάτων που δημιουργούνται στην επιφάνεια της λίμνης.
- 4.** Σε μια σεισμική δόνηση παράχθηκαν εγκάρσια κύματα που διαδίδονται με ταχύτητα 5 km/s και διαμήκη κύματα που διαδίδονται με ταχύτητα 9 km/s. Ένας σεισμο-

γράφος βρίσκεται σε απόσταση 400 km από την εστία του σεισμού. Ποιο είδος κυμάτων καταγράφηκε πρώτο από το σειсмоγράφο; Με πόση χρονική καθυστέρηση καταγράφηκε το δεύτερο κύμα;

5. Ένας ψαράς παρατηρεί μια σημαδούρα να αναδύεται και να βυθίζεται στο νερό εξαιτίας των κυμάτων που προκαλούνται από τη διέλευση ταχύπλοου σκάφους. Αν η ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων στο νερό είναι 2,5 m/s και το μήκος κύματος 7,5 m, πόσες φορές θα παρατηρήσει ο ψαράς τη σημαδούρα να αναδύεται σε χρόνο 1 min;

Ήχος

6. Ο Γιάννης ακούει τον ήχο μιας βροντής μετά από 10 s αφού βλέπει την αστραπή. Αν γνωρίζεις ότι ο ήχος στον αέρα διαδίδεται με ταχύτητα 340 m/s, μπορείς να υπολογίσεις σε ποια απόσταση από το σημείο που βρίσκεται ο Γιάννης εκδηλώθηκε η ηλεκτρική εκκένωση;

7. Υπέρηχοι με συχνότητα 15 kHz μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή εικόνων των οργάνων του ανθρώπινου σώματος. Αν η ταχύτητα διάδοσης του ήχου στο σώμα μας είναι 1,5 km/s περίπου (όσο και στο αλατόνερο), πόσο είναι το μήκος κύματος των υπερήχων στο σώμα μας;

8. Γνωρίζεις ότι η καμπάνα της εκκλησίας που βρίσκεται στην πλατεία του χωριού σου χτυπά κάθε Κυριακή ακριβώς στις 8 η ώρα το πρωί. Το σπίτι του φίλου σου βρίσκεται στην πλατεία, ενώ το δικό σου απέχει 1.020 m από αυτή. Εσύ και ο φίλος σου θα ακούσετε τον ήχο της καμπάνας ταυτόχρονα; α) Συμβουλευόσου τον πίνα-

κα 5.1 και υπολόγισε ποια ώρα ακριβώς θα ακούσεις τον ήχο της καμπάνας. β) Υπολόγισε το μήκος κύματος του ήχου αν γνωρίζεις ότι η συχνότητά του είναι 200 Hz.

9. Ένας ορειβάτης θέλει να υπολογίσει το πλάτος μιας χαράδρας με κατακόρυφα τοιχώματα αλλά δεν διαθέτει μετροταινία. Στέκεται σε ένα σημείο και φωνάζει προς τα κατακόρυφα τοιχώματα. Η ηχώ από το ένα τοίχωμα ακούγεται 2 s αφότου φώναξε και από το δεύτερο ακούγεται 2 s μετά την πρώτη ηχώ. Αν γνωρίζει ότι η ταχύτητα του ήχου στον αέρα είναι 340 m/s, πόσο είναι το πλάτος της χαράδρας;

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

- Κύμα δημιουργείται όταν ένα μέσο διαταράσσεται από την ισορροπία και ενέργεια διαδίδεται από μια περιοχή του μέσου σε άλλη, χωρίς να μεταφέρεται ύλη.
- Μηχανικά κύματα ονομάζονται τα κύματα που μεταφέρουν μηχανική ενέργεια και απαιτούν κάποιο μέσο για τη διάδοσή τους, όπως αέρας, νερό, σκοινί, ελατήριο.
- Ανάλογα με τον τρόπο κίνησης των σωματιδίων του μέσου τα κύματα διακρίνονται σε εγκάρσια και διαμήκη. Στα εγκάρσια τα σωματίδια ταλαντώνονται κάθετα προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος, ενώ στα διαμήκη παράλληλα σε αυτή.
- Η ενέργεια που μεταφέρεται από το κύμα προσφέρεται από την πηγή του κύματος.
- Περίοδος (T) και συχνότητα (t) ενός μηχανικού κύματος ονομάζεται η περίοδος και η συχνότητα των ταλαντώσεων των σωματιδίων του μέσου στο οποίο διαδίδεται το κύμα: $f = \frac{1}{T}$.

- Η ταχύτητα διάδοσης ενός κύματος ισούται με το γινόμενο του μήκους κύματος επί τη συχνότητα.
- Τα διαμήκη μηχανικά κύματα που παράγονται στον αέρα από τις δονήσεις των σωμάτων ονομάζονται ηχητικά και διαδίδονται σε όλα τα μέσα: στερεά, υγρά, αέρια. Δεν διαδίδονται στο κενό.
- Τα ηχητικά κύματα που έχουν συχνότητα 20 Hz έως 20.000 Hz προκαλούν το αίσθημα της ακοής όταν φθάσουν στο αφτί μας και ονομάζονται ήχοι. Ηχητικά κύματα με συχνότητα μικρότερη των 20 Hz ονομάζονται υπόηχοι, ενώ με μεγαλύτερη των 20.000 Hz υπέρηχοι.
- Τα υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου είναι το ύψος που καθορίζεται από τη συχνότητα. Η ακουστότητα που καθορίζεται από την ενέργεια που φθάνει στο αφτί μας στη μονάδα του χρόνου. Η χροιά που καθορίζεται από τη μορφή της κυματομορφής του ήχου.

ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΟΙ

**Μηχανικό κύμα | Ακουστότητα | Ύψος | Εγκάρσιο κύμα |
Διάμηκες κύμα | Πλάτος | Περίοδος | Συχνότητα | Χροιά
| Μήκος κύματος | Επιφανειακό κύμα**

ΕΝΟΤΗΤΑ 3

ΟΠΤΙΚΗ

Κεφάλαιο 6 : Φύση και διάδοση του φωτός

Κεφάλαιο 7 : Ανάκλαση του φωτός

Κεφάλαιο 8 : Διάθλαση του φωτός

Κεφάλαιο 9 : Φακοί και οπτικά όργανα



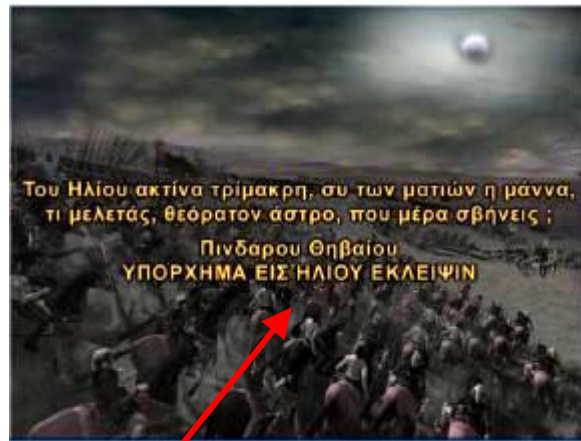
Από πολύ παλιά οι άνθρωποι εκτίμησαν τη σημασία του φωτός για την κατανόηση του κόσμου που μας περιβάλλει και ως μέσο ανταλλαγής πληροφοριών. Μέχρι την ανακάλυψη της φωτιάς το άπλετο φως του ήλιου και το αμυδρό φως της σελήνης ήταν ο μοναδικός τρόπος φωτισμού. Με την ανακάλυψη της φωτιάς, ο προϊστορικός άνθρωπος έστειλε οπτικά μηνύματα με τη βοήθειά της σε μεγάλες αποστάσεις. Ο σύγχρονος

άνθρωπος, κατανοώντας τη δύναμη της εικόνας στη μετάδοση της πληροφορίας και υποβοηθούμενος από την ανάπτυξη της τεχνολογίας, μεταδίδει ένα σημαντικό μέρος των πληροφοριών με τη βοήθεια της εικόνας που σχηματίζεται στην οθόνη της τηλεόρασης ή του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Γι' αυτό το λόγο από πολλούς η εποχή μας χαρακτηρίζεται και ως εποχή της εικόνας. Σε αυτή την ενότητα θα μελετήσουμε τις ιδιότητες του φωτός, τα φαινόμενα της ανάκλασης, της διάθλασης και της ανάλυσης του φωτός και θα απαντήσουμε τα ερωτήματα: Πως σχετίζεται το φως με την ενέργεια; Πως λειτουργεί το μάτι μας, το μικροσκόπιο, το τηλεσκόπιο και η φωτογραφική μηχανή;

μια μικρή ιστορία...

Ο Ειρηνοποιός Ήλιος

Το 4ο έτος της 48ης Ολυμπιάδας ή αντίστοιχα την 28η Μαΐου του 585 π.Χ. και ενώ η μάχη μεταξύ Λυδών και Περσών βρίσκονταν σε εξέλιξη ο Ήλιος άρχισε σιγά - σιγά να σβήνει: μια ολική έκλειψη Ηλίου ελάμβανε χώρα. Τα εμπόλεμα μέρη θεώρησαν το φυσικό φαινόμενο ως σημείο των θεών και συνήψαν ειρήνη. Ο Ηρόδοτος στα ιστορικά του αναφέρει ότι ο Θαλής ο Μιλήσιος πρόβλεψε την παραπάνω έκλειψη Ηλίου. Τι είναι ο Ήλιος; Πως προκύπτει η μέρα και η νύκτα; Πότε εκδηλώνεται μια έκλειψη Ηλίου ή Σελήνης;



**Του Ηλίου ακτίνα τρίμακρη, συ των ματιών η μάννα, τι μελετάς, θεόρατον άστρο, που μέρα σβήνεις;
Πινδάρου Θηβαίου
ΥΠΟΡΧΗΜΑ ΕΙΣ ΗΛΙΟΥ ΕΚΛΕΙΨΙΝ**

Στο κεφάλαιο αυτό:

- Θα διαπιστώσεις ότι το φως μεταφέρει ενέργεια.
- Θα μάθεις τα χαρακτηριστικά της ενέργειας του φωτός και τα αποτελέσματά της.
- Θα γνωρίσεις τον τρόπο διάδοσης του φωτός και τις παράξενες ιδιότητες της ταχύτητάς του

ΦΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

ΦΩΣ: ΑΠΟ ΤΗ ΜΥΘΟΛΟΓΙΑ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

Στις μυθολογίες των περισσότερων αρχαίων λαών στις οποίες περιγράφεται η δημιουργία του κόσμου το φως και το σκοτάδι θεωρούνται βασικά συστατικά των σωμάτων. Το φως συνδέεται με την έννοια του θερμού, ενώ το σκοτάδι με την έννοια του ψυχρού.

Στη σύγχρονη εποχή το φως μας βοηθάει να πραγματοποιήσουμε εξαιρετικά λεπτές χειρουργικές επεμβάσεις, να χαράξουμε σήραγγες, να μετρήσουμε με ακρίβεια μεγάλες αποστάσεις κ.ά.

6.1 Φως: όραση και ενέργεια

Φως και όραση

Τα μάτια μας είναι η κύρια πηγή πληροφοριών για τον εξωτερικό κόσμο. Αλλά πώς βλέπουμε; Τι εννοούμε με την έκφραση «ρίξε μια ματιά»; Μήπως εννοούμε ότι κάτι εκπέμπεται από τα μάτια μας και με αυτό τον τρόπο βλέπουμε; Γιατί βλέπουμε καλύτερα την ημέρα και όχι τη νύχτα;

Ανά τους αιώνες υπήρξαν πολλές και διαφορετικές αντιλήψεις για τη σχέση του φωτός με την όραση.

Η εξέλιξη των αντιλήψεων για την όραση

Ορισμένοι αρχαίοι Έλληνες φιλόσοφοι όπως ο Πυθαγόρας, ο Δημόκριτος και ο Αριστοτέλης ερμήνευαν την όραση θεωρώντας ότι κάθε αντικείμενο που παρατηρούμε εκπέμπει σωματίδια. Τα σωματίδια αυτά εισέρ-

χονται στο μάτι μας και διεγείρουν την όραση (εικόνα 6.1).

Εικόνα 6.1
1η άποψη: Όλα τα ορατά αντικείμενα εκπέμπουν σωματίδια που φθάνουν στο μάτι μας και διεγείρουν το αίσθημα της όρασης.



Η πιο διαδεδομένη όμως άποψη για την όραση ήταν αυτή που διατυπώθηκε από τους Εμπεδοκλή, Πλάτωνα και Ευκλείδη. Σύμφωνα με αυτή, διακρίνουμε ένα αντικείμενο όταν ρεύμα φωτιάς (θείον πυρ) εξέρχεται από τα μάτια μας και πέφτει πάνω στο αντικείμενο (εικόνα 6.2).

Εικόνα 6.2
2η άποψη:¹ «Θείον πυρ» εκπέμπεται από τα μάτια μας και έτσι βλέπουμε.



1.

Μπορείς να σκεφθείς ένα επιχείρημα με το οποίο να αντικρούσεις την παραπάνω άποψη;

Μόλις τον 11ο αιώνα μ.Χ. ο Άραβας αστρονόμος Αλχάζεν έδειξε ότι η πρώτη άποψη είναι πιο κοντά στην

πραγματικότητα. Ισχυρίστηκε ότι, αν από τα μάτια μας εξερχόταν ρεύμα φωτός, τότε θα ήταν δυνατό να διακρίνουμε όλα τα αντικείμενα και σε απόλυτο σκοτάδι.

Εικόνα 6.3

Βλέπουμε τη σελήνη γιατί φωτίζεται από τον ήλιο. Η σελήνη είναι **ετερόφωτο σώμα¹**.



1.

Αν η σελήνη ήταν αυτόφωτο σώμα, θα είχαμε διαρκώς πανσέληνο. Μπορείς να αιτιολογήσεις την παραπάνω πρόταση;

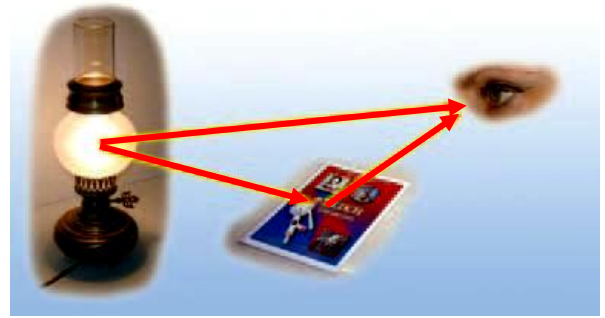
Σύγχρονες αντιλήψεις για την όραση

Για να διακρίνουμε ένα αντικείμενο, δεν είναι αρκετό να έχουμε τα μάτια μας ανοιχτά. Πρέπει ταυτόχρονα το αντικείμενο να φωτίζεται. Έτσι βλέπουμε κατά τη διάρκεια της ημέρας επειδή υπάρχει το φως του ήλιου, ενώ δεν βλέπουμε στο σκοτάδι το οποίο είναι η ανυπαρξία φωτός. Τα αντικείμενα τα βλέπουμε είτε επειδή τα ίδια είναι φωτεινές πηγές, δηλαδή εκπέμπουν φως, και τα ονομάζουμε **αυτόφωτα** (εικόνα 6.4α), είτε επειδή φωτίζονται από άλλες φωτεινές πηγές και τα ονομάζουμε **ετερόφωτα** (εικόνα 6.3). Ένα ετερόφωτο αντικείμενο επανεκπέμπει προς κάθε κατεύθυνση ένα μέρος του φωτός που φθάνει σ' αυτό (εικόνα 6.4β).

Όταν φως που προέρχεται από ένα αντικείμενο εισέλθει στα μάτια μας διεγείρει τα οπτικά κύτταρα. Η διέγερση αυτή μεταβιβάζεται στον εγκέφαλο ο οποίος επεξεργάζεται κατάλληλα το σήμα και βλέπουμε.

Εικόνα 6.4 Σύγχρονη αντίληψη για την όραση.

(α) Η λάμπα εκπέμπει δικό της φως: είναι αυτόφωτο σώμα. (β) Το βιβλίο φωτίζεται από τη λάμπα: είναι ετερόφωτο σώμα. (γ) Βλέπουμε τη λάμπα γιατί στο μάτι μας φθάνει φως που εκπέμπεται απευθείας από αυτή. Βλέπουμε το βιβλίο γιατί στο μάτι μας φθάνει φως της λάμπας που επανεκπέμπεται από αυτό.



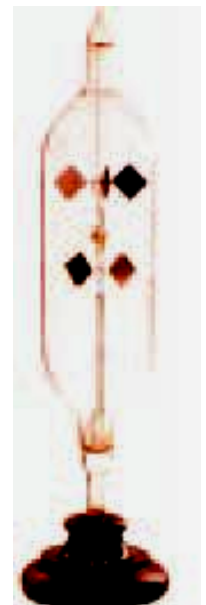
Φως και ενέργεια

Το φως μεταφέρει ενέργεια

Η ενέργεια που μεταφέρει το φως ονομάζεται **φωτεινή ενέργεια** η οποία αποτελεί ειδική περίπτωση της ενέργειας ακτινοβολίας. Έτσι η φωτεινή ενέργεια όπως κάθε μορφή ενέργειας είναι δυνατόν να μετασχηματιστεί σε άλλες μορφές.

Εικόνα 6.5

Το ακτινόμετρο είναι συσκευή που αποτελείται από μια γυάλινη φιάλη και έναν κατακόρυφο άξονα γύρω από τον οποίο μπορούν να περιστρέφονται τα πτερύγια. Από το εσωτερικό της φιάλης έχει αφαιρεθεί σχεδόν όλος ο αέρας έτσι ώστε τα πτερύγια κινούνται ευκολότερα.



Όπως είδαμε και στη διάδοση της θερμότητας με ακτινοβολία, η φωτεινή ενέργεια μεταφέρεται με τα

φωτόνια. Κάθε φωτόνιο μεταφέρει μια καθορισμένη ποσότητα ενέργειας. Φωτόνια που αντιστοιχούν σε φως πράσινου χρώματος έχουν όλα ακριβώς την ίδια ενέργεια. Το ίδιο συμβαίνει και με τα φωτόνια που αντιστοιχούν σε φως κόκκινου χρώματος. Τα φωτόνια όμως του κόκκινου χρώματος έχουν μικρότερη ενέργεια από τα φωτόνια του πράσινου.

Μετασχηματισμοί της φωτεινής ενέργειας

Το φως προκαλεί θέρμανση

Γιατί όταν ένα αντικείμενο φωτίζεται θερμαίνεται;

Όταν απορροφώνται φωτόνια από τους δομικούς λίθους ενός σώματος, για παράδειγμα άτομα ή μόρια, τότε αυξάνεται η κινητική τους ενέργεια με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία του σώματος. Σε αυτή την περίπτωση η φωτεινή ενέργεια μετασχηματίζεται σε θερμική. Στους ηλιακούς θερμοσίφωνες αξιοποιούμε την ενέργεια του ηλιακού φωτός για να θερμάνουμε το νερό.

Το φως προκαλεί κίνηση

Όταν εκθέσουμε ένα ακτινόμετρο στο ηλιακό φως ή στο φως ενός επιτραπέζιου φωτιστικού, τότε τα πτερύγιά του περιστρέφονται (εικόνα 6.5). Η ενέργεια των φωτονίων που προσπίπτουν στο ακτινόμετρο μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια των πτερυγίων του.

Το φως προκαλεί χημικές αντιδράσεις.

Από πού προέρχεται η ενέργεια των τροφών;

Τα πράσινα μέρη των φυτών απορροφούν ορισμένα από τα φωτόνια που προέρχονται από τον ήλιο. Η ενέργεια αυτών των φωτονίων προκαλεί χημική αντίδραση που ονομάζεται φωτοσύνθεση. Κατά τη φωτοσύνθεση παράγεται μια χημική ένωση που ονομάζεται

γλυκόζη (είδος ζάχαρης). Με τη φωτοσύνθεση η φωτεινή ενέργεια μετατρέπεται σε χημική που αποθηκεύεται στη γλυκόζη (θρεπτικές ουσίες των φυτών).

Το φως προκαλεί ηλεκτρικό ρεύμα

Είδαμε στο κεφάλαιο του ηλεκτρισμού ότι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι συσκευές που μετασχηματίζουν τη φωτεινή ενέργεια σε ηλεκτρική. Στους υπολογιστές τσέπης, στα ηλιακά αυτοκίνητα αλλά και σε διαστημικά οχήματα υπάρχουν φωτοβολταϊκά στοιχεία στα οποία η φωτεινή ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική.

Το φως προκαλεί την όραση

Όταν φθάσει στα μάτια μας φως προκαλούνται χημικές αντιδράσεις στα οπτικά κύτταρα και τελικά η φωτεινή ενέργεια μετατρέπεται σε χημική και στη συνέχεια σε ηλεκτρική. Το ηλεκτρικό σήμα που παράγεται μεταφέρεται μέσω του οπτικού νεύρου στο αντίστοιχο κέντρο του εγκεφάλου και δημιουργείται το αίσθημα της όρασης.

Εικόνα 6.6

Αυτό το ωκεάνιο ψάρι εκπέμπει φως από διάφορα όργανα του σώματός του. Πολλά είδη έμβιων οργανισμών που ζουν στους ωκεανούς ή στην ξηρά εκπέμπουν φως. Το φαινόμενο αυτό λέγεται **βιοφωτισμός**¹. Ορισμένα από τα κύτταρα αυτών των οργανισμών περιέχουν μόρια τα οποία αντιδρούν με το οξυγόνο. Τα μόρια των προϊόντων που παράγονται περιέχουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας την οποία εκπέμπουν με μορφή φωτονίων. Έτσι η χημική ενέργεια μετασχηματίζεται σε φωτεινή.

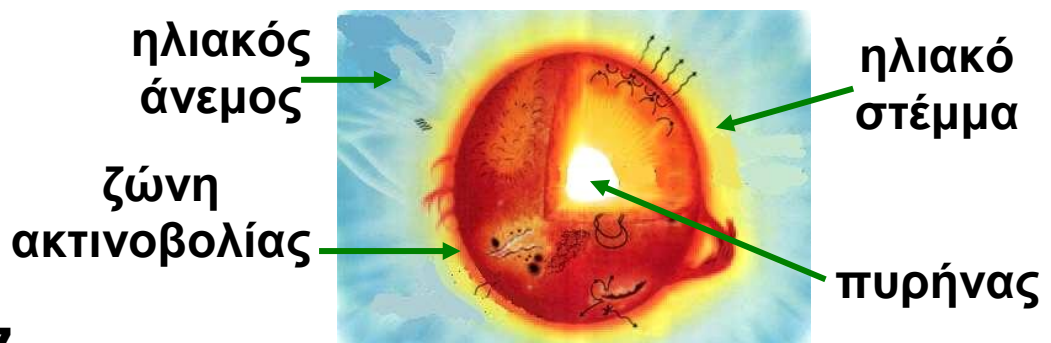


1.

Αναζήτησε πληροφορίες για θαλάσσιους και χερσαίους οργανισμούς που εκπέμπουν φως. Κατασκεύασε ένα φωτογραφικό άλμπουμ.

Φωτεινές πηγές

Φωτεινή πηγή ονομάζεται ένα σώμα ή μια συσκευή που εκπέμπει φως. Σε κάθε φωτεινή πηγή κάποια μορφή ενέργειας μετατρέπεται σε φωτεινή. Στον αναμμένο ηλεκτρικό λαμπτήρα η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική και φωτεινή ενέργεια. Στο αναμμένο κερί η χημική ενέργεια της ουσίας που καίγεται μετατρέπεται επίσης σε θερμική και φωτεινή ενέργεια.



Εικόνα 6.7

Ενέργεια από τον ήλιο

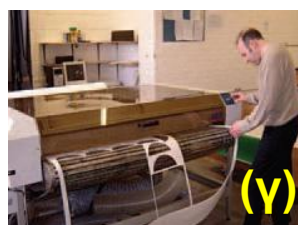
Στον πυρήνα του ήλιου γίνονται πυρηνικές αντιδράσεις με τις οποίες πυρηνική ενέργεια μετατρέπεται κυρίως σε θερμική. Η θερμική ενέργεια μεταφέρεται με ρεύματα στην επιφάνεια και μετατρέπεται σε ενέργεια ακτινοβολίας στη φωτόσφαιρα απ' όπου εκπέμπεται στο διάστημα. Για μια πυρηνική αντίδραση παράγεται ένα εκατομμύριο φορές περισσότερη ενέργεια απ' όση σε μια χημική αντίδραση καύσης υλικού ίσης μάζας.

Η κύρια πηγή φωτεινής ενέργειας για τη Γη είναι ο Ήλιος. Στο εσωτερικό του Ήλιου πραγματοποιούνται πυρηνικές αντιδράσεις (εικόνα 6.7). Ένα μέρος της πυ-

ρηνικής ενέργειας που ελευθερώνεται κατά τις πυρηνικές αντιδράσεις μετατρέπεται σε φωτεινή ενέργεια. Η φωτεινή ενέργεια μεταφέρεται με τα φωτόνια που εκπέμπονται από τον ήλιο στο διάστημα. Ένα πολύ μικρό μέρος αυτής της ενέργειας φθάνει στην επιφάνεια της Γης.

Υπάρχουν φυσικές φωτεινές πηγές όπως ο Ήλιος και τα υπόλοιπα άστρα. Υπάρχουν επίσης τεχνητές φωτεινές πηγές που έχουν κατασκευαστεί από τον άνθρωπο για να εκπέμπουν φως όπως η φλόγα ενός κεριού ή το πυρακτωμένο σύρμα ενός λαμπτήρα. Υπάρχουν θερμές φωτεινές πηγές, δηλαδή σώματα που εκπέμπουν φως λόγω της υψηλής θερμοκρασίας τους, όπως ο ήλιος, ο αέρας (φλόγα κεριού, σπινθήρας, αστραπή) ή το πυρακτωμένο νήμα ενός λαμπτήρα. Στις θερμές φωτεινές πηγές οι δομικοί τους λίθοι κινούνται πολύ έντονα, συγκρούονται μεταξύ τους με τελικό αποτέλεσμα μέρος της κινητικής τους ενέργειας να μετατρέπεται σε φωτεινή ενέργεια.

Ένα σώμα όμως είναι δυνατόν να εκπέμπει φως ακόμα και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αυτό συμβαίνει στην οθόνη της τηλεόρασης, στους σωλήνες φωτεινών διαφημίσεων και στις λάμπες φθορισμού. Τέτοια σώματα ονομάζονται ψυχρές φωτεινές πηγές.



Εικόνα 6.8

Πεδίο εφαρμογής λέιζερ: (α) δείκτες λέιζερ, (β) διάτρηση μετάλλων, (γ) κοπή υφάσματος, (δ) Ιατρική

Εκτός από τις συνήθεις πηγές φωτός υπάρχει επίσης και η πηγή λέιζερ (laser). Η φωτεινή πηγή λέιζερ εκπέμπει συγχρόνως φωτόνια της ίδιας ενέργειας προς την ίδια κατεύθυνση. Η φωτεινή δέσμη που εκπέμπεται με αυτό τον τρόπο είναι πολύ ισχυρή και επιπλέον διατηρείται λεπτή σε πολύ μεγάλη απόσταση από την πηγή. Μια πηγή λέιζερ μετασχηματίζει πολύ μικρό μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που της προσφέρεται σε φωτεινή. Σήμερα το πεδίο εφαρμογής του λέιζερ είναι πολύ μεγάλο και διαρκώς διευρύνεται. Η δέσμη λέιζερ χρησιμοποιείται στις τηλεπικοινωνίες, τη διάτρηση των μετάλλων και την τήξη δύστηκτων υλικών. Επειδή η δέσμη παραμένει ευθύγραμμη σε πολύ μεγάλη απόσταση, χρησιμοποιείται από τους μηχανικούς στη χάραξη δρόμων -όπως συνέβη στην κατασκευή της σήραγγας της Μάγχης- καθώς επίσης και από τους τοπογράφους για την ακριβή μέτρηση αποστάσεων. Τέλος επειδή προκαλεί εξαιρετικά εντοπισμένες μεταβολές χρησιμοποιείται σε λεπτές χειρουργικές επεμβάσεις, όπως στο μάτι, ή σαν μαχαίρι που κόβει γρήγορα και με ακρίβεια τα υφάσματα σε εργοστάσια κατασκευής ρούχων (εικόνα 6.8).

6.2 Διάδοση του φωτός

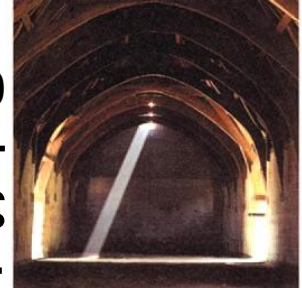
Ευθύγραμμη διάδοση του φωτός

Ποια πορεία ακολουθεί το φως κατά τη διάδοσή του; Όταν το φως διαδίδεται ανάμεσα από πυκνά σύννεφα δημιουργούνται ευθύγραμμες δέσμες φωτός (εικόνα 6.9). Λεπτές ευθύγραμμες δέσμες φωτός δημιουργούνται όταν αυτό διέρχεται από λεπτές σχισμές ή οπές, όπως αυτές που δημιουργούνται στις οροφές σκοτεινών σπηλαίων (εικόνα 6.10).

Εικόνα 6.9
Καθώς το φως διέρχεται μέσα από
πυκνά σύννεφα σχηματίζονται
λεπτές δέσμες φωτός.



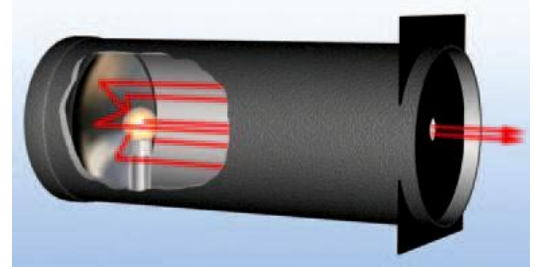
Εικόνα 6.10
Καθώς το φως διέρχεται μέσα από τη σχι-
σμή της οροφής σχηματίζει ευθύγραμμες
δέσμες.



Μπορούμε να δημιουργήσουμε μια πολύ λεπτότερη δέσμη φωτός αν σε προβολέα τοποθετήσουμε διάφραγμα με μικρή σχισμή (εικόνα 6.11).

Μια πολύ λεπτή δέσμη φωτός την παριστάνουμε με μια ευθεία γραμμή που την ονομάζουμε **ακτίνα φωτός** (εικόνα 6.11). Τις ακτίνες αυτές τις χρησιμοποιούμε για να σχεδιάζουμε την πορεία διάδοσης του φωτός. Χρησιμοποιώντας το μοντέλο των φωτεινών ακτίνων μπορούμε να περιγράψουμε τα φαινόμενα της οπτικής με τη βοήθεια της γεωμετρίας. Γι' αυτό η μελέτη του φωτός που βασίζεται στο παραπάνω μοντέλο ονομάζεται **γεωμετρική οπτική**.

Εικόνα 6.11
Το μοντέλο της
γεωμετρικής οπτικής
Οι λεπτές δέσμες φωτός παριστάνονται με ευθείες



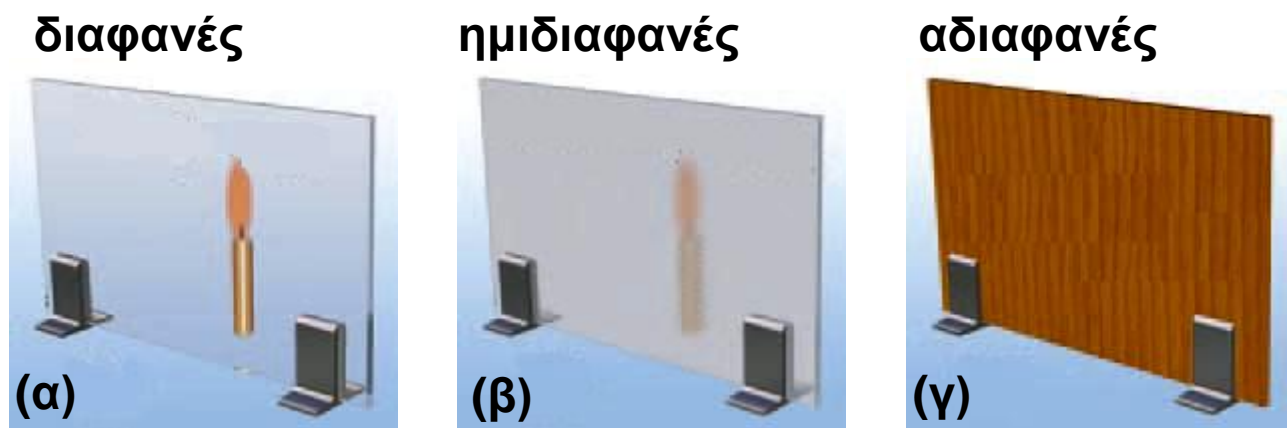
Στα παραπάνω παραδείγματα είδαμε ότι το φως διαδίδεται ευθύγραμμα μέσα στον αέρα ο οποίος έχει τις ίδιες ιδιότητες (την ίδια πυκνότητα, την ίδια θερμο-

κρασία κ.λπ.) σε όλα τα σημεία του. Κάθε υλικό μέσο που έχει σε όλα τα σημεία του τις ίδιες ιδιότητες ονομάζεται ομογενές υλικό μέσο. Γενικά μέσα σε κάθε ομογενές υλικό το φως διαδίδεται ευθύγραμμα.

Πού διαδίδεται το φως

Βλέπουμε αντικείμενα ακόμα και όταν παρεμβάλλεται αέρας, νερό ή γυαλί ανάμεσα σε αυτά και στα μάτια μας. Ωστόσο δεν διακρίνουμε αντικείμενα πίσω από τοίχους ή ξύλινες πόρτες. Το φως διαδίδεται μέσα από ορισμένα σώματα. Τα σώματα μέσα στα οποία διαδίδεται το φως τα ονομάζουμε **διαφανή** (εικόνα 6.12α). Αντιθέτως τα σώματα μέσα από τα οποία δεν διαδίδεται το φως τα ονομάζουμε **αδιαφανή** (εικόνα 6.12γ). Υπάρχουν σώματα, π.χ. το γαλακτόχρωμο τζάμι, πίσω από τα οποία δεν διακρίνουμε καθαρά τα αντικείμενα. Αυτά τα σώματα τα ονομάζουμε **ημιδιαφανή** (εικόνα 6.12β).

Είναι άραγε απαραίτητο να υπάρχει υλικό μέσο για να διαδοθεί το φως;



Εικόνα 6.12

(α) Το φως διαδίδεται μέσα από διαφανή υλικά: τα αντικείμενα είναι πλήρως ορατά. (β) Το φως διαδίδεται μερικά μέσα από ημιδιαφανή υλικά: τα αντικείμενα δεν διακρίνονται καθαρά. (γ) Το φως δε διαδίδεται μέσα από αδιαφανή υλικά: τα αντικείμενα δεν είναι ορατά.

Ξέρουμε ότι το ηλιακό φως φθάνει στη γη, αν και όπως γνωρίζουμε ο περισσότερος χώρος μεταξύ του ήλιου και του πλανήτη μας είναι κενός. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι το φως διαδίδεται στο κενό.



Εικόνα 6.13

Τα μέταλλα λάμπουν.

Φωτόνια και διάδοση του φωτός

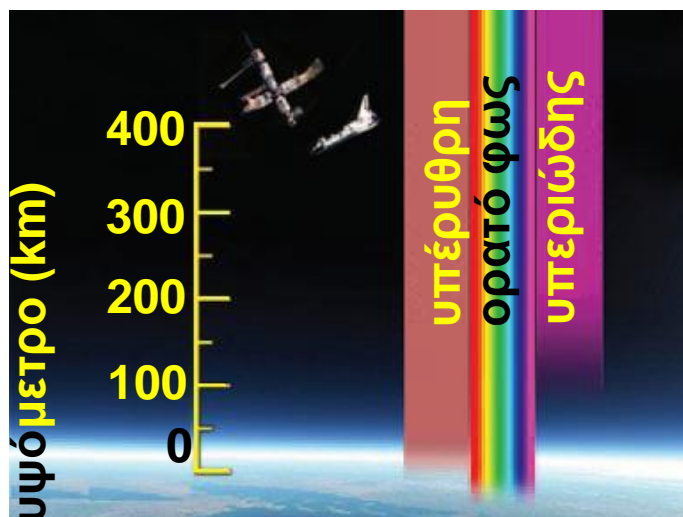
Γιατί υπάρχουν διαφανή και αδιαφανή σώματα;

Γνωρίζουμε ότι το φως είναι ενέργεια που μεταφέρεται από φωτόνια. Όταν το φως προσπέσει σε κάποιο σώμα, τα φωτόνια αλληλεπιδρούν με τα άτομα του υλικού από το οποίο αποτελείται το σώμα. Στα διαφανή υλικά τα άτομα απορροφούν τα φωτόνια και στη συνέχεια επανεκπέμπουν φωτόνια που έχουν την ίδια ενέργεια με τα αρχικά. Στα αδιαφανή υλικά η ενέργεια των φωτονίων μετασχηματίζεται σε κινητική ενέργεια των ατόμων ή των μορίων του υλικού, δηλαδή έχουμε αύξηση της θερμικής ενέργειας του σώματος και τελικά μικρή αύξηση της θερμοκρασίας τους. Τα μέταλλα είναι αδιαφανή. Όταν προσπέσει φως σ' ένα μέταλλο, τα φωτόνια συνήθως συγκρούονται με τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του μετάλλου και επιστρέφουν. Γι' αυτό τα μέταλλα είναι στιλπνά (λάμπουν) (εικόνα 6.13).

Σκιά

Σε χώρες με μεγάλη ηλιοφάνεια, όπως η Ελλάδα, συχνά αναζητούμε κάποια «σκιά» για να «προστατευτούμε από τις ακτίνες» του ήλιου.

Εικόνα 6.14
Η γήινη ατμόσφαιρα είναι
αδιαφανής στην υπεριώδη
ακτινοβολία και διαφανής
στο ορατό φως.



Πότε και πώς σχηματίζεται η σκιά;
Σκιά σχηματίζουν τα αδιαφανή σώματα όταν αυτά φωτίζονται από μια φωτεινή πηγή. Η σκιά ενός σώματος σχηματίζεται στις περιοχές εκείνες όπου δεν φθάνουν οι ακτίνες που προέρχονται από τη φωτεινή πηγή, γιατί στην πορεία τους παρεμβάλλεται το αδιαφανές σώμα. Το φως δεν «στρίβει» από τις γωνίες του αδιαφανούς σώματος. Η δημιουργία της σκιάς είναι αποτέλεσμα της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός. Η σκιά δημιουργείται από την έλλειψη φωτός, αλλά για τη δημιουργία της είναι αναγκαία η ύπαρξη φωτός και το αδιαφανές σώμα.

Σκιές γύρω μας

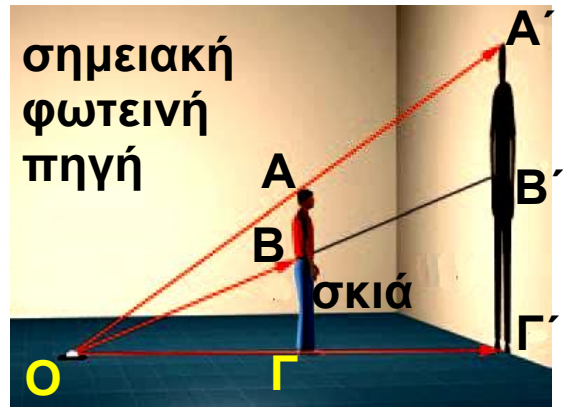
Αν παρατηρήσεις προσεκτικά τις σκιές που σχηματίζονται γύρω σου, βλέπεις ότι κάποιες από αυτές έχουν σαφή όρια. Τέτοιες είναι οι σκιές που σχηματίζονται από φωτεινές πηγές μικρών διαστάσεων (π.χ. προβολέας) που βρίσκονται κοντά στο σώμα ή από φωτεινές πηγές μεγάλων διαστάσεων που βρίσκονται πολύ μακριά, όπως ο ήλιος (εικόνα 6.15). Σε αυτές τις περιπτώσεις η φωτεινή πηγή θεωρείται ότι είναι ένα σημείο και ονομάζεται σημειακή.

Εικόνα 6.15

Η δημιουργία και το μέγεθος της σκιάς

Το ευθύγραμμο τμήμα ΑΓ είναι παράλληλο με το Α'Γ'. Σύμφωνα με το θεώρημα του Θαλή ισχύει

$\frac{ΑΓ}{Α'Γ'} = \frac{ΟΓ}{ΟΓ'}$. Δηλαδή τα μεγέθη της σκιάς και του αντικειμένου συνδέονται με τις αποστάσεις από τη φωτεινή πηγή του αντικειμένου και της επιφάνειας στην οποία σχηματίζεται η σκιά.



Οι περισσότερες όμως σκιές δεν έχουν σαφή όρια. Στο κεντρικό τμήμα της σκιάς υπάρχει συνήθως μια σκοτεινή περιοχή που είναι η κυρίως σκιά, ενώ γύρω από την κυρίως σκιά υπάρχει μια περιοχή που φωτίζεται εν μέρει και ονομάζεται παρασκιά. Στην περιοχή της κυρίως σκιάς δεν φθάνει καμία από τις φωτεινές ακτίνες που προέρχονται από τη φωτεινή πηγή, ενώ στη περιοχή της παρασκιάς φθάνουν μόνο ορισμένες από τις φωτεινές ακτίνες, ενώ οι υπόλοιπες αποκόπτονται από το σώμα (εικόνα 6.16).

Εικόνα 6.16

Η δημιουργία της παρασκιάς. Η παρασκιά δημιουργείται όταν η πηγή δεν είναι σημειακή.



Σκιές ουράνιων σωμάτων

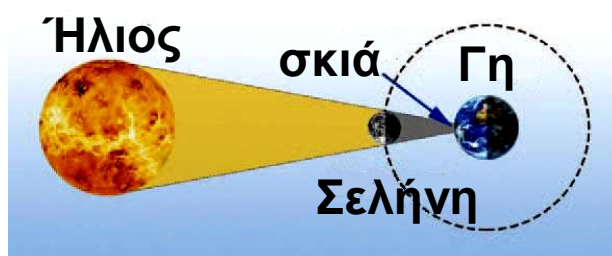
Η Γη και η Σελήνη όπως όλα τα αδιαφανή σώματα, όταν φωτίζονται δημιουργούν σκιά. Φαινόμενα που οφείλονται στη δημιουργία της σκιάς της σελήνης και της Γης είναι οι εκλείψεις του Ηλίου και της Σελήνης.

Έκλειψη Ηλίου

Ένα εντυπωσιακό αποτέλεσμα του σχηματισμού της σκιάς της Σελήνης εκδηλώνεται όταν η Σελήνη βρεθεί στην περιοχή μεταξύ της Γης και του Ηλίου (εικόνα 6.17). Τότε η σκιά της Σελήνης σχηματίζεται πάνω στην επιφάνεια της Γης και συμβαίνει μια έκλειψη Ηλίου. Το φαινόμενο αυτό προκαλούσε δέος στους ανθρώπους των παλαιότερων εποχών. Ο παρατηρητής που βρίσκεται στην περιοχή της κύριας σκιάς βλέπει να καλύπτεται ολόκληρος ο ηλιακός δίσκος (εικόνα 6.18). Πρόκειται για ολική έκλειψη.

Οι κάτοικοι της Γης που βρίσκονται στην περιοχή της παρασκιάς αντιλαμβάνονται μια μερική έκλειψη. Το ηλιακό φως γίνεται πιο αμυδρό, ενώ είναι δυνατό να παρατηρήσει κανείς απευθείας ένα τμήμα του ηλιακού δίσκου.

Εικόνα 6.17
Σχηματική αναπαράσταση της ηλιακής έκλειψης.



Εικόνα 6.18
Φωτογραφία του ηλιακού στέμματος όπως αυτό έγινε ορατό κατά την ολική έκλειψη του Ηλίου στις 11/8/1999 στο Ιράν.

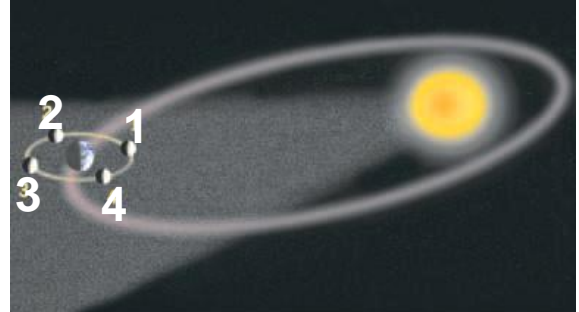


Φάσεις και έκλειψη Σελήνης

Η Σελήνη περιφέρεται γύρω από τη Γη και ο Ήλιος φωτίζει συνεχώς τη μισή επιφάνειά της.

Εικόνα 6.19

Οι φάσεις της Σελήνης όπως θα τις βλέπαμε αν μπορούσαμε να βρεθούμε στο διάστημα.



Εικόνα 6.20

Οι φάσεις της Σελήνης όπως τις βλέπουμε από τη Γη.



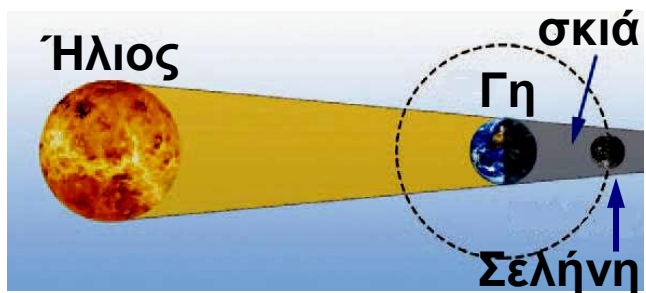
Η εικόνα της Σελήνης την οποία βλέπει ένας παρατηρητής από τη Γη μεταβάλλεται ανάλογα με τη θέση της Σελήνης σε σχέση με τη Γη και τον Ήλιο (εικόνα 6.19). Όταν η Γη βρίσκεται μεταξύ Σελήνης και Ηλίου βλέπουμε όλη τη φωτισμένη περιοχή της Σελήνης: τότε έχουμε πανσέληνο (θέση 3). Όταν η Σελήνη βρίσκεται μεταξύ Γης και Ηλίου έχει στραμμένη τη σκοτεινή πλευρά της προς τη Γη, οπότε δεν είναι ορατή από τη Γη: τότε έχουμε τη νέα Σελήνη (θέση 1). Οι φάσεις της Σελήνης επαναλαμβάνονται σε κάθε περιφορά της γύρω από τη Γη, η οποία διαρκεί 29,5 ημέρες περίπου (σεληνιακός κύκλος) (εικόνα 6.20).

Το επίπεδο στο οποίο βρίσκεται η τροχιά της Γης γύρω από τον Ήλιο είναι διαφορετικό από το επίπεδο

στο οποίο βρίσκεται η τροχιά της Σελήνης γύρω από τη Γη (εικόνα 6.19). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, όταν η Σελήνη βρίσκεται στις θέσεις 1 και 3 (νέα Σελήνη και πανσέληνος), Σελήνη, Γη και Ήλιος να μη βρίσκονται πάντα στην ίδια ευθεία. Στην περίπτωση που κατά την πανσέληνο η Σελήνη βρεθεί στην ευθεία Γης - Ηλίου τότε θα βρεθεί στη σκιά της Γης. Τότε η Σελήνη δεν είναι ορατή από τη Γη και έχουμε ολική έκλειψη Σελήνης (εικόνα 6.21).

Αντίθετα όταν κατά τη φάση της νέας Σελήνης αυτή βρεθεί στην ευθεία Γης - Ηλίου, τότε η σκιά της Σελήνης σχηματίζεται στην επιφάνεια της Γης και εκδηλώνεται ολική έκλειψη Ηλίου (εικόνα 6.17).

Εικόνα 6.21
Σχηματική αναπαράσταση
της έκλειψης Σελήνης.



Ενώ μια έκλειψη Σελήνης είναι ορατή από όλους τους κατοίκους ενός ημισφαιρίου της Γης που έχουν βέβαια νύχτα, μια έκλειψη Ηλίου είναι ορατή από κατοίκους μιας πολύ μικρής περιοχής της Γης.

Ταχύτητα διάδοσης του φωτός

Σε μια καταιγίδα βλέπεις πρώτα την αστραπή και μετά από λίγο ακούς τη βροντή. Φαίνεται ότι το φως φθάνει σε σένα σχεδόν αμέσως, ενώ ο ήχος με κάποια καθυστέρηση. Μπορείς να συμπεράνεις ότι το φως διαδίδεται πολύ γρηγορότερα από τον ήχο. Πράγματι, αρχικά από αστρονομικές παρατηρήσεις, προέκυψε ότι το φως που εκπέμπουν τα ουράνια σώματα δεν φθάνει ακαριαία στη Γη. Στη συνέχεια οι επιστήμονες με ακρι-

βείς επίγειες μετρήσεις διαπίστωσαν ότι μέσα στο κενό και κατά προσέγγιση στον αέρα το φως διαδίδεται με ταχύτητα 300.000 km/s.



Εικόνα 6.22

Η ταχύτητα διάδοσης του φωτός είναι διαφορετική σε διάφορα διαφανή υλικά. Στο κενό είναι η μεγαλύτερη.

Πόσο μεγάλη είναι η ταχύτητα του φωτός; Κατ' αρχήν είναι περίπου 1.000.000 φορές μεγαλύτερη από την ταχύτητα διάδοσης του ήχου στον αέρα. Ένα αυτοκίνητο κινούμενο συνεχώς με 170 km/h θα χρειαζόταν για να διανύσει την απόσταση Γης-Ηλίου περίπου 100 χρόνια. Το φως διανύει την ίδια απόσταση σε 8 λεπτά περίπου. Την απόσταση Γης-Σελήνης τη διανύει περίπου σε 1 δευτερόλεπτο. Το φως δεν διαδίδεται με την ίδια ταχύτητα σε όλα τα διαφανή υλικά. Με τη μεγαλύτερη ταχύτητα διαδίδεται στο κενό ή τον αέρα (εικόνα 6.22).

Έτσι προκύπτει ότι η ταχύτητα διάδοσης του φωτός στο γυαλί είναι 200.000 km/s. Στην εικόνα 6.22 φαίνονται σχηματικά οι ταχύτητες του φωτός σε διάφορα υλικά.

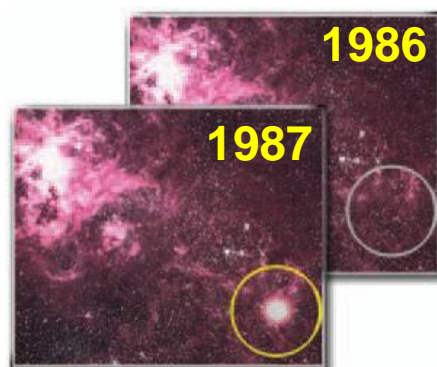
Η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι η μεγαλύτερη ταχύτητα που μπορεί να παρατηρηθεί στον κόσμο. Είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα που κινείται οποιοδήποτε σώμα ή διαδίδεται οποιοδήποτε κύμα. Ακόμη και το ταχύτερο διαστημόπλοιο κινείται πολύ πιο αργά από το φως.

Χρησιμοποιώντας την τεράστια ταχύτητα διάδοσης του φωτός έχουμε επινοήσει μια μονάδα μέτρησης αστρικών αποστάσεων. Για παράδειγμα, το φως χρειάζεται περίπου τέσσερα χρόνια για να φθάσει στη Γη από τον αστέρα Α του Κενταύρου (τον πλησιέστερο σε μας αστέρα που είναι παρόμοιος με τον Ήλιο). Λέμε, λοιπόν, ότι ο αστέρας Α του Κενταύρου απέχει τέσσερα έτη φωτός από εμάς.

Έτος φωτός είναι η απόσταση που διανύει το φως σε ένα έτος.

Ένα αστέρι γεννιέται

Οι υπερκαινοφανείς αστέρες (super nova) είναι αστέρια που εκρήγνυνται. Οι ποσότητες της ενέργειας που εκπέμπουν κατά την έκρηξή τους είναι τεράστιες. Ένα μεγάλο μέρος της παραπάνω ενέργειας είναι φωτεινή. Η φωτεινότητα των παραπάνω αστέρων είναι κατά δισεκατομμύρια φορές μεγαλύτερη από αυτή ενός συνηθισμένου αστεριού. Γι' αυτό το λόγο κάποιοι από τους υπερκαινοφανείς αστέρες γίνονται για μικρό χρονικό διάστημα ορατοί με γυμνό μάτι παρόλο που βρίσκονται πολύ μακριά. Οι τελευταίοι δύο υπερκαινοφανείς που παρατηρήθηκαν από τη Γη με γυμνό μάτι ήταν το 1604 και το 1987. Στην παραπάνω φωτογραφία δείχνεται ο νυχτερινός ουρανός πριν και μετά την παρατήρηση του υπερκαινοφα-



νούς. Η απόσταση του παραπάνω αστεριού από τη γη είναι 169.000 έτη φωτός. Για να καταλάβουμε πόσο μακριά είναι το αστέρι από τη Γη μετατρέπουμε την παραπάνω απόσταση σε μέτρα. Το ταξίδι του φωτός από το αστέρι στη Γη διαρκεί χρονικό διάστημα $t = 170.000$ έτη ή

$$t = 169.000 \text{ έτη} \cdot \frac{350 \text{ ημερ}}{\text{έτος}} \cdot \frac{24 \text{ \cancel{h}}}{\text{ημερ}} \cdot \frac{3.600 \text{ s}}{\cancel{\text{h}}} \quad \text{ή}$$

$$t \approx 5,33 \cdot 10^{12} \text{ s}$$

Η απόσταση που διανύει είναι:

$$\Delta x = c \cdot t = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 5,33 \cdot 10^{12} \text{ s} \approx 1,6 \cdot 10^{21} \text{ m}$$

Μπορείς να συγκρίνεις την παραπάνω απόσταση: α) με τη διάμετρο του ηλιακού μας συστήματος; β) με τη διάμετρο του γαλαξία μας;

Μπορείς να συμπεράνεις αν ο παραπάνω υπερκαινοφανής είναι στο γαλαξία μας;

Η αρχή του ελάχιστου χρόνου

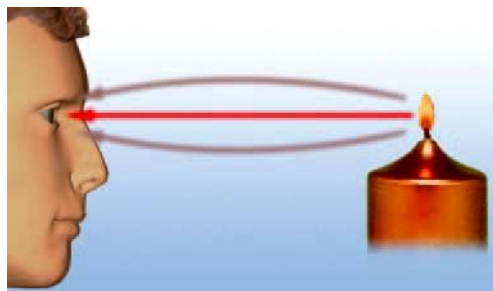
Μπορούμε να ερμηνεύσουμε γιατί το φως διαδίδεται ευθύγραμμο μέσα σε ένα ομογενές μέσο;

Το 1650 ο Γάλλος μαθηματικός Πιέρ ντε Φερμά (Fermat) (1601-1665) πρότεινε έναν απλό τρόπο με τον οποίο μπορούμε να προβλέπουμε την πορεία διάδοσης του φωτός σε κάθε περίπτωση. Ο Φερμά διατύπωσε την εξής πρόταση: **όταν το φως διαδίδεται από ένα σημείο σε ένα άλλο ακολουθεί την πορεία για την οποία απαιτείται ο ελάχιστος χρόνος.**

Η πρόταση αυτή ονομάζεται αρχή του ελάχιστου χρόνου ή αρχή του Φερμά. Όταν ένας οδηγός βιάζεται να πάει σε κάποιο προορισμό δεν επιλέγει τη διαδρομή με το μικρότερο μήκος αλλά εκείνη στην οποία μπορεί να κινηθεί με τη μεγαλύτερη ταχύτητα αποφεύγοντας το

συνωστισμό, την κακή κατάσταση του οδοστρώματος κ.λπ. Με παρόμοιο τρόπο συμπεριφέρεται και το φως. Ο χρόνος που απαιτείται για να διαδοθεί από ένα σημείο σε ένα άλλο εξαρτάται τόσο από το μήκος της διαδρομής όσο και από την ταχύτητα με την οποία διαδίδεται.

Σε ένα ομογενές υλικό το φως διαδίδεται με σταθερή ταχύτητα. Σε αυτή την περίπτωση η διαδρομή που απαιτεί τον ελάχιστο χρόνο είναι αυτή με το ελάχιστο μήκος, δηλαδή η ευθύγραμμη (εικόνα 6.23). Όστε, σύμφωνα με την αρχή του ελάχιστου χρόνου, σε κάθε ομοιογενές υλικό μέσο το φως διαδίδεται ευθύγραμμα. Όταν η θέση της πηγής του φωτός και του παρατηρητή αλλάξουν αμοιβαία, τότε λόγω της αρχής του ελάχιστου χρόνου το φως διαδίδεται αντίστροφα ακολουθώντας πάλι την ίδια διαδρομή.



Εικόνα 6.23

Αρχή της γεωμετρίας και φως

Κατά την πορεία του στον αέρα

το φως, για να φτάσει από τη φλόγα του κεριού στο μάτι μας, θα ακολουθήσει τη συντομότερη διαδρομή.

Ερωτήσεις

ερωτήσεις

► Χρησιμοποίησε και εφάρμοσε τις έννοιες που έμαθες:

1. Συμπλήρωσε τις λέξεις που λείπουν από το παρακάτω κείμενο έτσι ώστε οι προτάσεις που προκύπτουν να είναι επιστημονικά ορθές:

α. Βλέπουμε ένα αντικείμενο όταντο οποίο προέρχεται από αυτό εισέλθει στα μας. Τότε το φως διεγείρει τα κύτταρα και η διέγερση αυτή μεταβιβάζεται στον Ένα αντικείμενο μπορεί να εκπέμπει το ίδιο φως οπότε ονομάζεται ή να επανεκπέμπει το φως που φτάνει σε αυτό οπότε ονομάζεται

β. Το φως είναι μια μορφή Η φωτεινή ενέργεια μεταφέρεται από τα Κάθε φωτόνιο μεταφέρει ποσότητα ενέργειας. Το του εκπεμπόμενου φωτός καθορίζεται από την ενέργεια των φωτονίων από τα οποία αποτελείται.

γ. Μέσα σε κάθε ομογενές υλικό το φως διαδίδεται Εκτός από την ύλη το φως διαδίδεται και στο Τα σώματα μέσα στα οποία διαδίδεται το φως τα ονομάζουμε Αντιθέτως τα σώματα μέσα στα οποία δεν διαδίδεται το φως, τα ονομάζουμε

2. Σε ποιες ή σε ποια από τις επόμενες προτάσεις το περιεχόμενο τους είναι επιστημονικά ορθό; Βλέπουμε ένα αντικείμενο όταν: α) το αντικείμενο εκπέμπει φως, β) το αντικείμενο φωτίζεται από φωτεινή πηγή, γ) φως από το αντικείμενο φτάνει στα μάτια μας.

3. Να χαρακτηρίσεις με Σ τις προτάσεις των οποίων το περιεχόμενο είναι επιστημονικά ορθό και με Λ αυτές που το περιεχόμενο τους είναι επιστημονικά λανθασμένο.

α. Ένα σώμα που εκπέμπει φως είναι φωτεινή πηγή.

β. Σε κάθε φωτεινή πηγή κάποια μορφή ενέργειας μετατρέπεται σε φωτεινή.

γ. Μόνο τα στερεά σώματα μπορούν να εκπέμπουν φως όταν αποκτήσουν υψηλή θερμοκρασία.

δ. Ένα σώμα, για να εκπέμψει φως, πρέπει να έχει υψηλή θερμοκρασία.

4. Να περιγράψεις τις μετατροπές ενέργειας που συμβαίνουν: α) σ' έναν ηλεκτρικό λαμπτήρα που φωτοβολεί, β) σε ένα αναμμένο κερί, γ) όταν το ηλιακό φως πέφτει πάνω στα φύλλα των δέντρων, δ) όταν το ηλιακό φως προσπίπτει στο συλλέκτη του ηλιακού θερμοσίφωνα, ε) όταν φως προσπίπτει σε ένα ακτινόμετρο.

5. Ταξινόμησε τα παρακάτω σώματα σε αυτόφωτα και ετερόφωτα:

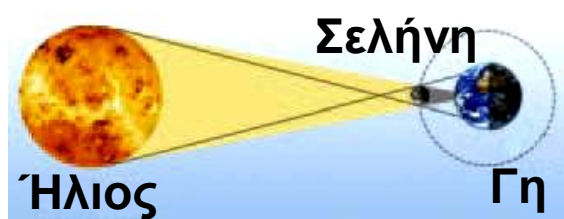
α) Ήλιος, β) Σελήνη, γ) Αυγερινός (πλανήτης Αφροδίτη), δ) Πούλια (αστερισμός), ε) αναμμένο κερί.

6. Κατάταξε τα παρακάτω σώματα σε διαφανή, ημιδιαφανή, αδιαφανή: νερό, αέρας, γυαλί, ξύλο, γαλακτόχρωμο τζάμι, αλουμινόχαρτο, χαρτί, φωτογραφικό φιλμ, έγχρωμο τζάμι.

7. Πότε και γιατί σχηματίζεται η σκιά;

8. Σε ποια φάση βρίσκεται η Σελήνη όταν έχουμε έκλειψη Ηλίου; Υποστήριξε την άποψή σου σχεδιάζοντας κατάλληλο σχήμα.

9. Στην εικόνα που παριστάνεται στο διπλανό σχήμα να δείξεις τις περιοχές σκιάς-παρασκιάς. Πού βρίσκεται ένας γήινος παρατηρητής όταν παρατηρεί μια ολική ή μια μερική έκλειψη Ηλίου αντίστοιχα.



10. Να χαρακτηρίσεις με Σ τις προτάσεις των οποίων το περιεχόμενο είναι επιστημονικά ορθό και με Λ αυτές που το περιεχόμενο τους είναι επιστημονικά λανθασμένο.

α. Η σκιά σχηματίζεται στην κατεύθυνση φωτεινής πηγής αντικειμένου προς την πλευρά του αντικειμένου.

β. Η παρασκιά οφείλεται στο γεγονός ότι το φως δεν διαδίδεται ευθύγραμμο μέσα στον αέρα.

γ. Εκδηλώνεται μια έκλειψη Σελήνης σε κάθε σεληνιακό κύκλο.

δ. Στη διάρκεια μιας έκλειψης η Γη, η Σελήνη και ο Ήλιος βρίσκονται στην ίδια ευθεία.

► Εφάρμοσε τις γνώσεις σου και γράψε τεκμηριωμένες απαντήσεις στις ερωτήσεις που ακολουθούν:

11. Η Σελήνη είναι αυτόφωτο ή ετερόφωτο σώμα; Να αιτιολογήσεις την απάντησή σου.

12. Μπορείς να εξηγήσεις γιατί η λάβα ενός ηφαιστείου είναι ορατή ακόμη και τη νύχτα;

13. Ποια είναι η κύρια φυσική φωτεινή πηγή για τη Γη; Να αναφέρεις τρεις τεχνητές φωτεινές πηγές που χρησιμοποιούμε συνήθως.

14. Χρησιμοποιώντας το μοντέλο των φωτεινών ακτίνων απεικόνισε τον τρόπο με τον οποίο βλέπεις τη Σελήνη.

15. Βλέπουμε ένα αναμμένο κερί στο σκοτάδι επειδή είναι μια φωτεινή πηγή. Πώς μπορούμε λοιπόν να δούμε ένα σβησμένο κερί;

16. Πώς διαπιστώνουμε ότι το φως διαδίδεται στο κενό; Συμβαίνει το ίδιο και με τον ήχο;

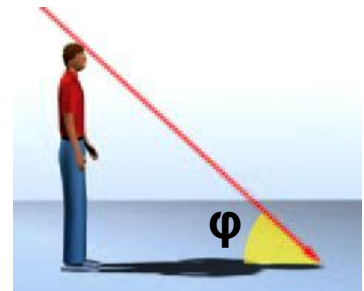
17. Να περιγράψεις ένα φαινόμενο με το οποίο να μπορείς να συμπεράνεις ότι η ταχύτητα διάδοσης του ήχου είναι πολύ μικρότερη από την ταχύτητα διάδοσης του φωτός.

18. Με βάση την αρχή του ελάχιστου χρόνου, προσπάθησε να εξηγήσεις γιατί σε ομογενή μέσα το φως διαδίδεται ευθύγραμμα.

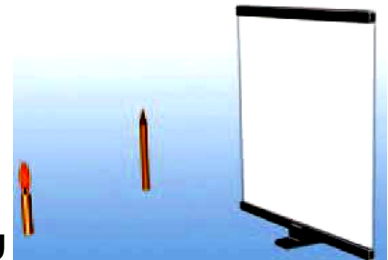
Ασκήσεις

ασκήσεις

1. Φυσική και Γεωμετρία: Ποια γωνία πρέπει να σχηματίζουν οι ηλιακές ακτίνες με το οριζόντιο επίπεδο ώστε το μήκος της σκιάς ενός ανθρώπου στο έδαφος να είναι ίσο με το ύψος του;



2. Στη διπλανή εικόνα να σχεδιάσεις τη σκιά του μολυβιού που δημιουργείται πάνω στην οθόνη από τη φλόγα του κεριού. Να υπολογίσεις το μέγεθος της σκιάς αν γνωρίζεις ότι το μήκος του μολυβιού είναι 15 cm και η απόστασή του από τη φλόγα 20 cm. Η οθόνη έχει τοποθετηθεί σε απόσταση 50 cm από τη φλόγα του κεριού.



3. Φυσική και Γεωμετρία: Αν το μήκος της σκιάς του δέντρου της διπλανής εικόνας είναι το $\frac{1}{3}$ του ύψους του, μπορείς να βρεις πόσο είναι το ύψος του κτηρίου αν γνωρίζεις ότι το μήκος της σκιάς του είναι 18 m; Μπορείς να σκεφθείς και να περιγράψεις με ποιο τρόπο ο Ερατοσθένης υπολόγισε το ύψος της πυραμίδας της Αιγύπτου με τη βοήθεια του μήκους της σκιάς ενός ραβδιού;



4. Υπολόγισε το χρόνο που χρειάζεται το φως για να φθάσει από τον Ήλιο στη Γη αν γνωρίζεις ότι η απόσταση Γης-Ηλίου είναι 1.500.000.000 km.

5. Ο Πλούτωνας είναι ο πιο απομακρυσμένος πλανήτης του ηλιακού μας συστήματος. Το φως του Ηλίου φθάνει σε αυτόν 5,5 ώρες από τη στιγμή που εκπέμπεται. Χρησιμοποιώντας αυτά τα δεδομένα να υπολογίσεις την απόσταση του Πλούτωνα από τον Ήλιο. Μπορείς να εκτιμήσεις τη διάμετρο του ηλιακού μας συστήματος;

6. Ο Α του Κενταύρου ή ο εγγύτατος του Κενταύρου είναι ο αστέρας ο οποίος βρίσκεται πλησιέστερα προς το ηλιακό μας σύστημα. Το φως για να φθάσει από τον Α του Κενταύρου στη Γη χρειάζεται 4,5 έτη. α) Με βάση αυτό το δεδομένο υπολόγισε την απόσταση του Α του Κενταύρου από τη Γη. β) Μπορείς να εκτιμήσεις πόσες φορές είναι μεγαλύτερη αυτή η απόσταση από τη διάμετρο του ηλιακού μας συστήματος; Δίδεται ότι η ταχύτητα του φωτός είναι: $3 \cdot 10^8$ m/s.

7. Τη νύχτα της 23ης Φεβρουαρίου του 1987 ο αστρονόμος Ίαν Σέλτον φωτογράφησε με τη βοήθεια του τηλεσκοπίου του την έκρηξη ενός άστρου. Το άστρο αυτό βρισκόταν 169.000 έτη φωτός μακριά από τη Γη. Ποια χρονολογία συνέβη η έκρηξη; Είναι δυνατόν πολλά από τα αστέρια που βλέπουμε το βράδυ στον έναστρο ουρανό να έχουν καταστραφεί αρκετά χρόνια πριν και να μην υπάρχουν πλέον; Αιτιολόγησε την άποψή σου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

- Βλέπουμε ένα αντικείμενο όταν φως που προέρχεται από αυτό φθάσει στα μάτια μας, διεγείρει τα οπτικά κύτταρα και η διέγερση μεταβιβαστεί στον εγκέφαλο.
- Τα αντικείμενα τα βλέπουμε είτε επειδή τα ίδια είναι φωτεινές πηγές, δηλαδή εκπέμπουν φως, οπότε τα ονομάζουμε αυτόφωτα, είτε επειδή φωτίζονται από άλλες φωτεινές πηγές, οπότε τα ονομάζουμε ετερόφωτα.
- Το φως μεταφέρει ενέργεια. Η ενέργεια που μεταφέρει το φως ονομάζεται φωτεινή ενέργεια η οποία αποτελεί ειδική περίπτωση της ενέργειας ακτινοβολίας. Έτσι η φωτεινή ενέργεια όπως κάθε μορφή ενέργειας είναι δυνατόν να μετασχηματισθεί σε άλλες μορφές. Η φωτεινή ενέργεια μεταφέρεται από τα φωτόνια. Κάθε φωτόνιο μεταφέρει μια καθορισμένη ποσότητα ενέργειας.
- Φωτεινή πηγή ονομάζεται ένα σώμα ή μια συσκευή που εκπέμπει φως. Σε κάθε φωτεινή πηγή κάποια μορφή ενέργειας μετατρέπεται σε φωτεινή.
- Σε κάθε ομογενές υλικό το φως διαδίδεται ευθύγραμμο. Στο κενό και στον αέρα το φως διανύει 300.000 χιλιόμετρα το δευτερόλεπτο. Η ταχύτητα διάδοσης του φωτός διαφέρει από υλικό σε υλικό.
- Τα σώματα μέσα στα οποία διαδίδεται το φως τα ονομάζουμε διαφανή. Τα σώματα μέσα από τα οποία δεν διαδίδεται το φως τα ονομάζουμε αδιαφανή. Σώματα πίσω από τα οποία δεν διακρίνουμε καθαρά τα αντικείμενα τα ονομάζουμε ημιδιαφανή.
- Η σκιά ενός σώματος σχηματίζεται στις περιοχές εκείνες όπου δεν φθάνουν οι ακτίνες που προέρχονται

από τη φωτεινή πηγή, γιατί στην πορεία τους παρεμβάλλεται ένα αδιαφανές σώμα. Η δημιουργία της σκιάς είναι αποτέλεσμα της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός.

ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΟΙ

Φως | Φωτεινή Πηγή | Ταχύτητα του φωτός | Φωτεινή ενέργεια | Διαφανή, ημιδιαφανή, αδιαφανή σώματα | Σκιά | Φωτόνιο |

ΕΝΟΤΗΤΑ 1 ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ

Κεφάλαιο 3. Ηλεκτρική ενέργεια

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΖΩΗ.....	7
3.1. Θερμικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος	8
3.2. Χημικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος	23
3.3. Μαγνητικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος	27
3.4. Ηλεκτρική και μηχανική ενέργεια.....	35
3.5. Βιολογικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος	39
3.6. Ενέργεια και ισχύς του ηλεκτρικού ρεύματος	42

ΕΝΟΤΗΤΑ 2 ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ

Κεφάλαιο 4. Ταλαντώσεις

ΠΕΡΙΟΔΙΚΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ	65
4.1. Ταλαντώσεις	66
4.2. Μεγέθη που χαρακτηρίζουν μια ταλάντωση	69
4.3. Ενέργεια και ταλάντωση	74

Κεφάλαιο 5. Μηχανικά κύματα

Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΑΞΙΔΕΥΕΙ	85
5.1. Μηχανικά κύματα	85
5.2. Κύμα και ενέργεια.....	90
5.3. Χαρακτηριστικά μεγέθη του κύματος.....	92
5.4. Ήχος	100
5.5. Υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου	106

ΕΝΟΤΗΤΑ 3 ΟΠΤΙΚΗ

Κεφάλαιο 6. Φύση και διάδοση του φωτός

ΦΩΣ ΑΠΟ ΤΗ ΜΥΘΟΛΟΓΙΑ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	125
6.1. Φως: όραση και ενέργεια	125
6.2. Διάδοση του φωτός	133

Βάσει του ν. 3966/2011 τα διδακτικά βιβλία του Δημοτικού, του Γυμνασίου, του Λυκείου, των ΕΠΑ.Λ. και των ΕΠΑ.Σ. τυπώνονται από το ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ και διανέμονται δωρεάν στα Δημόσια Σχολεία. Τα βιβλία μπορεί να διατίθενται προς πώληση, όταν φέρουν στη δεξιά κάτω γωνία του εμπροσθόφυλλου ένδειξη «ΔΙΑΤΙΘΕΤΑΙ ΜΕ ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ». Κάθε αντίτυπο που διατίθεται προς πώληση και δεν φέρει την παραπάνω ένδειξη θεωρείται κλεψίτυπο και ο παραβάτης διώκεται σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 7 του νόμου 1129 της 15/21 Μαρτίου 1946 (ΦΕΚ 1946,108, Α').

Απαγορεύεται η αναπαραγωγή οποιουδήποτε τμήματος αυτού του βιβλίου, που καλύπτεται από δικαιώματα (copyright), ή η χρήση του σε οποιαδήποτε μορφή, χωρίς τη γραπτή άδεια του Υπουργείου Παιδείας, Θρησκευμάτων και Αθλητισμού / ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ.