

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ

**ΦΥΣΙΚΗ Γ' ΛΥΚΕΙΟΥ**  
**ΚΟΙΝΟΥ ΚΟΡΜΟΥ**

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ  
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

## **Φυσική Γ΄ Λυκείου Κοινού Κορμού**

**Συγγραφή:** Ιωάννης Καρμιώτης  
*Φυσικός, Εκπαιδευτικός Μέσης Εκπαίδευσης*

Παναγιώτης Ελευθερίου,  
*Επιθεωρητής Μέσης Εκπαίδευσης Φυσικής*

Γιαννάκης Χατζηκωστής,  
*Επιθεωρητής Μέσης Εκπαίδευσης Φυσικής*

**Επιμέλεια Έκδοσης:** Μαρίνα Άστρα Ιωάννου  
Λειτουργός Υπηρεσίας Ανάπτυξης Προγραμμάτων

**Συντονισμός Έκδοσης:** Χρίστος Παρπούνας  
Συντονιστής Υπηρεσίας Ανάπτυξης Προγραμμάτων

Α΄ Έκδοση 2018 (Δοκιμαστική)

Εκτύπωση: Proteas Press Ltd

© ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ  
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

ISBN: 978-9963-54-179-9

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ

### Εισαγωγή

Από τα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα και μετά, ο ηλεκτρισμός άρχισε να γίνεται μέρος της καθημερινότητας του ανθρώπου και πλέον αποτελεί κινητήριο μοχλό της κοινωνίας. Ο φωτισμός, τα κλιματιστικά θέρμανσης και ψύξης, τα μέσα μεταφοράς, οι τηλεπικοινωνίες, οι ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές, στηρίζουν τη λειτουργία τους στο ηλεκτρικό ρεύμα.

Στο κεφάλαιο αυτό, θα μελετήσουμε το ηλεκτρικό ρεύμα, από την παραγωγή του, τη μεταφορά του μέχρι τα σπίτια και την κατανάλωσή του στις ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές.

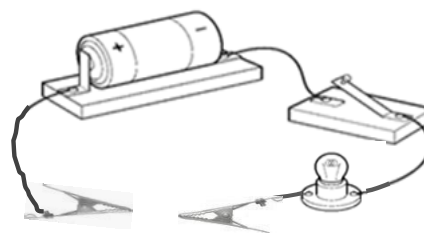
### Ο ηλεκτρισμός στην καθημερινότητα μας

- Ο ηλεκτροκίνητος σιδηρόδρομος χρησιμοποιεί την ηλεκτρική ενέργεια για την κίνηση του.
- Ο ηλεκτρικός τηλεγράφος, που εφευρέθηκε το 1838 από τον Samuel Morse, ήταν η πρώτη συσκευή που χρησιμοποιούσε ηλεκτρικό ρεύμα για να μεταδίδει γραπτά μηνύματα.
- Ο ηλεκτρικός λαμπτήρας, που εφευρέθηκε από τον Thomas Edison, χρησιμοποιεί το ηλεκτρικό ρεύμα για να παράξει ορατό φως.
- Η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται από τους σταθμούς παραγωγής, στη βιομηχανία και τα σπίτια με κατάλληλες γραμμές μεταφοράς, που αποτελούνται από αγωγούς οι οποίοι διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα.
- Οι οικιακές ηλεκτρικές συσκευές (φούρνος, ψυγείο, πλυντήριο, τηλεόραση, κλιματιστικό, κλπ) λειτουργούν με ηλεκτρικό ρεύμα.
- Οι λειτουργίες του ανθρώπινου σώματος (αναπνοή, κίνηση) βασίζονται στη μετάδοση ηλεκτρικών σημάτων, από τον εγκέφαλο στα διάφορα μέρη του σώματος, χρησιμοποιώντας το ανθρώπινο νευρικό σύστημα.

## Δραστηριότητα 1- 1: Αγωγοί και μονωτές του ηλεκτρισμού

### Υλικά

- Μπαταρία
- Λαμπτήρας
- Καλώδια
- Διακόπτης
- Αντικείμενα από: χαρτί, χαλκό, σίδηρο, πλαστικό, λάστιχο, γυαλί, αλουμίνιο, ύφασμα, πολυστερίνη



**Εικόνα 1- 1:** Αγωγοί και μονωτές ηλεκτρικού ρεύματος

1. Να κατασκευάσετε το κύκλωμα που φαίνεται στην Εικόνα 1-1.
2. Για ποια από τα αντικείμενα που έχετε στη διάθεσή σας πιστεύετε ότι ο λαμπτήρας δεν θα φωτοβολεί αν περιληφθούν στο κύκλωμα; Με ποιο κριτήριο καταλήξατε στον διαχωρισμό των αντικειμένων; Να συμπληρώσετε τον Πίνακα 1-1.

**Πίνακας 1- 1**

Υλικά που αν περιληφθούν στο κύκλωμα ο λαμπτήρας φωτοβολεί	Υλικά που αν περιληφθούν στο κύκλωμα ο λαμπτήρας δεν φωτοβολεί	Κριτήριο

3. Να περιλάβετε τα αντικείμενα που έχετε στη διάθεσή σας ανάμεσα στα κροκοδειλάκια (ένα κάθε φορά) και να γράψετε αν ο λαμπτήρας φωτοβολεί ή όχι. Να συμπληρώσετε τον Πίνακα 1-2.

**Πίνακας 1- 2**

Υλικά που αν περιληφθούν στο κύκλωμα ο λαμπτήρας φωτοβολεί	Υλικά που αν περιληφθούν στο κύκλωμα ο λαμπτήρας δεν φωτοβολεί

4. Τι κοινό έχουν τα υλικά που αν παρεμβληθούν στο κύκλωμα ο λαμπτήρας φωτοβολεί;

---

---

**Συμπέρασμα:** Αν περιλάβουμε ένα αντικείμενο σε ένα κύκλωμα με έναν λαμπτήρα και ο λαμπτήρας συνεχίσει να φωτοβολεί, λέμε ότι το υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένο το αντικείμενο είναι **αγωγός**. Αντίθετα, αν περιλάβουμε ένα αντικείμενο στο κύκλωμα και ο λαμπτήρας σταματήσει να φωτοβολεί, λέμε ότι το υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένο το αντικείμενο είναι **μονωτής**.

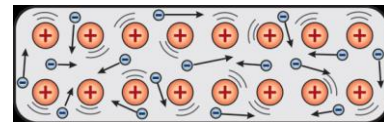
Παραδείγματα αγωγών είναι ο σίδηρος, ο χαλκός, το αλουμίνιο, ο άργυρος και ο χρυσός.

Παραδείγματα μονωτών είναι το γυαλί, το ξύλο, το χαρτί και τα διάφορα πλαστικά.

### Αγωγοί και μονωτές (ερμηνεία)

Όλα τα υλικά αποτελούνται από άτομα. Επιπλέον, όπως γνωρίζουμε, τα άτομα αποτελούνται από μικρότερα σωματίδια: τα πρωτόνια που είναι θετικά φορτισμένα, τα ηλεκτρόνια που είναι αρνητικά φορτισμένα και τα νετρόνια που είναι ηλεκτρικά ουδέτερα. Σε ένα ηλεκτρικά ουδέτερο άτομο, ο αριθμός των πρωτονίων και των ηλεκτρονίων είναι ίσος. Αν όμως, ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια φύγουν από ένα άτομο, τότε το άτομο γίνεται θετικά φορτισμένο και ονομάζεται θετικό ιόν. Αν ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια προσληφθούν από ένα άτομο, τότε το άτομο γίνεται αρνητικά φορτισμένο και ονομάζεται αρνητικό ιόν.

Στους **αγωγούς**, π.χ. μέταλλα, τα άτομα που τους αποτελούν δεν είναι ισχυρά συνδεδεμένα με όλα τα ηλεκτρόνια τους. Ως αποτέλεσμα ένας συγκεκριμένος αριθμός ηλεκτρονίων μπορούν να αποσπαστούν και να κινούνται σε όλο τον όγκο του αντικειμένου. Τα ηλεκτρόνια αυτά ονομάζονται ελεύθερα. Συνεπώς, ένα μεταλλικό υλικό μπορεί να περιγραφεί σαν ένα σύνολο θετικών ιόντων που δονούνται γύρω από συγκεκριμένες θέσεις και έναν αριθμό ελεύθερων ηλεκτρονίων που κινούνται ελεύθερα σε όλο τον όγκο του αντικειμένου.

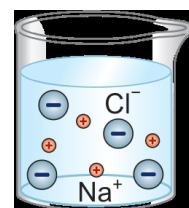


**Εικόνα 1- 2:** Μοντέλο αγωγού σε μικροσκοπικό επίπεδο

Εάν ασκηθούν ηλεκτρικές δυνάμεις σε ένα αγωγό, παρατηρείται κατευθυνόμενη κίνηση (ροή) των ελεύθερων ηλεκτρονίων σε όλο τον όγκο του σώματος. Δηλαδή, το σώμα διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα.

Στους **μονωτές**, όπως το γυαλί, το ξύλο, το χαρτί και τα διάφορα πλαστικά, δεν ευνοείται η ελεύθερη κίνηση φορέων φορτίου στο εσωτερικό τους.

Εκτός από τα μέταλλα υπάρχουν και άλλα παραδείγματα αγωγών του ηλεκτρισμού. Για παράδειγμα, ένα **διάλυμα νερού και μαγειρικού άλατος** (χλωριούχου νατρίου) περιέχει κατιόντα νατρίου  $\text{Na}^+$ , ανιόντα χλωρίου  $\text{Cl}^-$  και έναν μικρό αριθμό κατιόντων  $\text{H}^+$  και ανιόντων υδροξυλίου  $\text{OH}^-$ , που προέρχονται από τη διάσπαση μορίων νερού. Εάν δράσουμε με ηλεκτρικές δυνάμεις



**Εικόνα 1- 3:** Διάλυμα νερού και χλωριούχου νατρίου

στο διάλυμα, παρατηρείται κίνηση αυτών των ιόντων σε όλο τον όγκο του διαλύματος. Συνεπώς, το διάλυμα αποτελεί αγωγό.

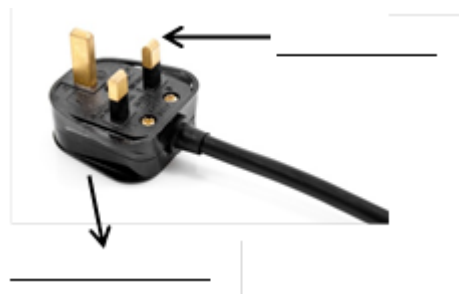
### Δραστηριότητα για το σπίτι: Αγωγιμότητα στα υγρά

Για το πείραμα αυτό θα χρειαστείτε διάφορα υγρά όπως, πόσιμο νερό, αναψυκτικά, ξύδι, αλατόνερο, απεσταγμένο ή απιονισμένο νερό.

Να σχεδιάσετε και να εκτελέσετε ένα πείραμα για να ταξινομήσετε τα υγρά σε δύο κατηγορίες: αγωγούς ή μονωτές.

### Θέματα για συζήτηση

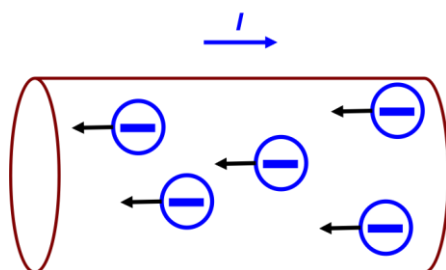
1. Γιατί δεν πρέπει να χειριζόμαστε πρίζες, διακόπτες και ηλεκτρικές συσκευές όταν τα χέρια μας είναι βρεγμένα;
2. Γιατί οι πρίζες που υπάρχουν μέσα στο μπάνιο διαφέρουν από τις υπόλοιπες πρίζες του σπιτιού;
3. Γιατί οι πυροσβέστες κλείνουν τον γενικό διακόπτη σε ένα κτήριο που πήρε φωτιά και μετά εισέρχονται σε αυτό για να ρίξουν νερό;
4. Αν πιάσει φωτιά μια ηλεκτρική συσκευή στο σπίτι μας, τι πρέπει και τι δεν πρέπει να κάνουμε;
5. Η Εικόνα 1-4 δείχνει έναν **ρευματολήπτη** (πρίζα). Ο ρευματολήπτης αποτελείται από αγωγίμα και μονωτικά μέρη.
  - α) Να σημειώσετε στην Εικόνα 1-4 κατά πόσο τα μέρη που υποδεικνύονται είναι μονωτές ή αγωγοί του ηλεκτρισμού.
  - β) Να γράψετε σε συντομία τη χρησιμότητα των αγωγίμων και των μονωτικών μερών του ρευματολήπτη.



**Εικόνα 1- 4:** Ρευματολήπτης ηλεκτρικών συσκευών

## Ηλεκτρικό Ρεύμα

Ηλεκτρικό ρεύμα είναι η προσανατολισμένη κίνηση ηλεκτρικού φορτίου σε αγώγιμα υλικά, που παρατηρείται όταν στο εσωτερικό των υλικών εφαρμοσθούν ηλεκτρικές δυνάμεις. Στους μεταλλικούς αγωγούς, όπως ο χαλκός, οι φορείς του ηλεκτρικού φορτίου είναι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Αγωγοί του ηλεκτρικού ρεύματος είναι και τα διαλύματα του νερού/αλάτων, όπου οι φορείς φορτίου είναι τα φορτισμένα άτομα των αλάτων και ένα μικρό ποσοστό φορτισμένων μορίων νερού.



**Εικόνα 1- 5:** Σε ένα μεταλλικό αγωγό που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα έντασης  $I$ , τα ελεύθερα ηλεκτρόνια κινούνται προσανατολισμένα (μαύρα βέλη). Για ιστορικούς λόγους σχεδιάζουμε τη φορά του ηλεκτρικού ρεύματος (μπλε βέλος) αντίθετα με την προσανατολισμένη κίνηση των ηλεκτρονίων.

Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος περιγράφει την ποσότητα του ηλεκτρικού φορτίου που διαρρέει ένα αγωγό σε κάποιο χρονικό διάστημα. Σε ένα τυπικό κεραυνό, ηλεκτρικό φορτίο περίπου 20000 C διαρρέει τον αγωγίμο αέρα σε 1 s, ενώ στο ίδιο χρονικό διάστημα μόλις 0,2 C διαρρέουν τον λαμπτήρα ενός φαναριού.

### Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος

Είναι το συνολικό, κατ' απόλυτο τιμή, φορτίο που διέρχεται ανά μονάδα χρόνου από μια διατομή του αγωγού:

$$I = \frac{|Q|}{\Delta t}$$

Η μονάδα μέτρησης της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος στο διεθνές σύστημα SI ονομάζεται **Ampere (A)** από τον Γάλλο φυσικό Andre Marie Ampere (1775-1836).

Το όργανο μέτρησης της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος ονομάζεται **αμπερόμετρο**.



**Εικόνα 1- 6:** Αναλογικά αμπερόμετρα και ψηφιακό πολύμετρο

**Άσκηση:** Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος στο κύκλωμα ενός ηλεκτρικού θερμοσίφωνα είναι 9 A. Να υπολογίσετε: (α) το ηλεκτρικό φορτίο που διέρχεται από μια διατομή του κυκλώματος σε χρονικό διάστημα 2 s (β) το χρονικό διάστημα, μέσα στο οποίο διέρχεται συνολικό φορτίο 2 C από μια διατομή του κυκλώματος.

Στον Πίνακα 1-3, αναγράφονται κάποιες τυπικές τιμές της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος.

**Πίνακας 1- 3:** Παραδείγματα τιμών της έντασης ρεύματος

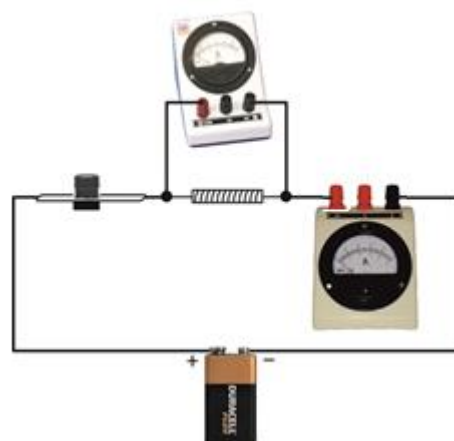
Ηλεκτρικό Ρεύμα	Ένταση
Δίαυλοι ιόντων στις κυτταρικές μεμβράνες	1-15 pA
Τρανζίστορ	1 mA
Λαμπτήρας φαναριού	200 mA
Λαμπτήρας φωτισμού	0,5 A
Ηλεκτρική κουζίνα	10 A
Εκκινητής φορτηγού	180 A
Κεραυνός	20 kA
Ηλιόσφαιρα	3 GA



Ένας αγωγός διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα μόνο όταν στο εσωτερικό του δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο, οπότε στα ελεύθερα ηλεκτρόνια του ασκούνται ηλεκτρικές δυνάμεις. Για να επιτευχθεί αυτό, συνδέουμε τα άκρα του αγωγού με μία ηλεκτρική πηγή (μπαταρία).

Η ικανότητα μίας μπαταρίας να δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο στο εσωτερικό ενός αγωγού εκφράζεται από ένα μέγεθος, που ονομάζεται **διαφορά δυναμικού**. Η δύναμη λόγω του ηλεκτρικού πεδίου, που δημιουργείται από μία μπαταρία στο εσωτερικό ενός δεδομένου αγωγού, είναι **ανάλογη** με τη διαφορά δυναμικού της μπαταρίας.

Το αμπερόμετρο και το βολτόμετρο συνδέονται σε ένα κύκλωμα όπως φαίνεται στην Εικόνα 1-7. Το αμπερόμετρο παρεμβάλλεται στο κύκλωμα ενώ το βολτόμετρο συνδέεται παράλληλα με τη συσκευή (αντιστάτη) της οποίας θέλουμε να μετρήσουμε τη διαφορά δυναμικού στα άκρα της.



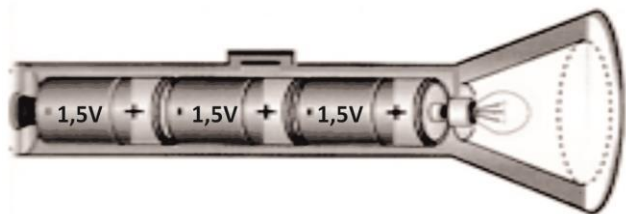
**Εικόνα 1- 7:** Συνδεσμολογία αμπερομέτρου και βολτόμετρου σε ένα κύκλωμα

Στον Πίνακα 1-4, φαίνονται ενδεικτικά παραδείγματα της διαφοράς δυναμικού στα άκρα ηλεκτρικών πηγών. Η διαφορά δυναμικού συμβολίζεται με το γράμμα  $\Delta V$  και η μονάδα μέτρησης στο διεθνές σύστημα SI ονομάζεται **Volt (V)** από τον Ιταλό φυσικό Alessandro Volta (1745-1827). Το όργανο μέτρησης της διαφοράς δυναμικού ονομάζεται **βολτόμετρο**.

**Πίνακας 1- 4:** Παραδείγματα τιμών της διαφοράς δυναμικού

Ηλεκτρική πηγή	Διαφορά Δυναμικού
Μπαταρία AAA	1,5 V
Μπαταρία κινητού τηλεφώνου	3 V
Μπαταρία αυτοκινήτου	12 V
Ρευματοδότης σπιτιού	240 V

Όταν συνδέουμε μπαταρίες σε σειρά, όπως π.χ. στο φανάρι της Εικόνας 1-8 η διαφορά δυναμικού στα άκρα του συνδυασμού των μπαταριών είναι ανάλογη με τον αριθμό των μπαταριών. Στο παράδειγμα μας η διαφορά δυναμικού στα άκρα των μπαταριών είναι 4,5 V.



**Εικόνα 1- 8:** Συνδεσμολογία μπαταριών σε ένα φανάρι

## Δραστηριότητα 1- 2: Μέτρηση Διαφοράς Δυναμικού

### Πείραμα 1: Χρήση αναλογικού βολτόμετρου

Να συνδέσετε τον κόκκινο (+) ακροδέκτη του βολτόμετρου με τον θετικό (+) πόλο της μπαταρίας και τον μαύρο (-) ακροδέκτη του βολτόμετρου με τον αρνητικό (-) πόλο της μπαταρίας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1-9.



**Εικόνα 1- 9:** Μέτρηση διαφοράς δυναμικού στα άκρα μπαταρίας

Να προσδιορίσετε την τιμή της διαφοράς δυναμικού στα άκρα της μπαταρίας. Χρειάζεται να κάνετε κάποια εκτίμηση για τη μέτρησή της;

---

---

2. Ποια είναι η εκτίμησή σας για την τιμή της διαφοράς δυναμικού στα άκρα της μπαταρίας;

---

---

### Πείραμα 2: Χρήση πολύμετρου ως βολτόμετρο

Το πολύμετρο είναι ένα όργανο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά και για τη μέτρηση της τάσης στα άκρα μιας μπαταρίας.

Για να μετρήσετε την τάση στα άκρα μιας μπαταρίας θα πρέπει να ακολουθήσετε τα εξής βήματα:

- Να ανάψετε το πολύμετρο πιέζοντας στην επιλογή ON/OFF.



**Εικόνα 1- 10:** Πολύμετρο

- Να γυρίσετε τον διακόπτη στη θέση V(DC) και στην τιμή 2V.
- Να τοποθετήσετε το κόκκινο σύρμα στην υποδοχή «V-Ω» στο κάτω μέρος του πολυμέτρου.
- Να τοποθετήσετε το μαύρο σύρμα στην υποδοχή COM.
- Να ακουμπήσετε το κόκκινο σύρμα στον θετικό (+) πόλο και το μαύρο σύρμα στον αρνητικό (-) πόλο της μπαταρίας.

Ποια είναι η τιμή της διαφοράς δυναμικού στα άκρα της μπαταρίας;

---

Σε υλικά όπως τα μέταλλα, για ένα εύρος θερμοκρασιών, η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει ένα αγωγό είναι ανάλογη με τη διαφορά δυναμικού στα άκρα του αγωγού. Δηλαδή, όσο πιο μεγάλη είναι η διαφορά δυναμικού που συντηρεί η μπαταρία στα άκρα του αγωγού, τόσο πιο μεγάλη είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό. Η σχέση αυτή είναι γνωστή ως **Νόμος του Ohm**.

### Νόμος του Ohm

Η ένταση  $I$  του ηλεκτρικού ρεύματος, που διαρρέει ένα μεταλλικό αγωγό, είναι γραμμικά ανάλογη με τη διαφορά δυναμικού στα άκρα του αγωγού:

$$I \propto DV$$

Γενικά, αν εφαρμόσουμε την ίδια διαφορά δυναμικού στα άκρα δύο όμοιων αγωγών από διαφορετικό υλικό θα διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα διαφορετικής έντασης, γιατί στον έναν αγωγό προκαλείται ροή ηλεκτρονίων πιο δύσκολα από ότι στον άλλο (μικρότερη ένταση ηλεκτρικού ρεύματος). Η δυσκολία με την οποία προκαλείται ροή ηλεκτρονίων στον αγωγό, εκφράζεται με το μέγεθος της αντίστασης.

### Αντίσταση υλικού

Η αντίσταση ενός υλικού ορίζεται ως το πηλίκο της διαφοράς δυναμικού στα άκρα του, προς την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που το διαρρέει:

$$R = \frac{DV}{I}$$

Η αντίσταση συμβολίζεται με το αγγλικό γράμμα **R**, και στο διεθνές σύστημα SI η μονάδα μέτρησης ονομάζεται **Ohm (Ω)**, από τον Γερμανό φυσικό Georg Simon Ohm (1789-1854) .

### Άσκηση:

1. Δύο αγωγοί έχουν αντιστάσεις  $1,0 \Omega$  και  $5,0 \Omega$ . Εάν εφαρμόσουμε την ίδια διαφορά δυναμικού  $2,5 \text{ V}$  στα άκρα τους να υπολογίσετε την ένταση του ρεύματος που θα διαρρέει κάθε αγωγό. Ποιος αγωγός διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα μεγαλύτερης έντασης;
2. Να υπολογίσετε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει (α) μια πλάκα τοστιέρας με αντίσταση  $48 \Omega$  (β) ένα φούρνο μικροκυμάτων με αντίσταση  $20 \Omega$ , όταν εφαρμόζεται στα άκρα τους διαφορά δυναμικού  $240 \text{ V}$ .

### Δραστηριότητα 1- 3: Πειραματική διερεύνηση του νόμου του Ohm

Η Άντρια θέλει να κατασκευάσει ένα κύκλωμα συνδέοντας τέσσερις μπαταρίες ( $1,5 \text{ V}$  η καθεμιά) σε σειρά, καλώδια, τρεις διαφορετικούς αντιστάτες συνδεδεμένους **σε σειρά**, ένα βολτόμετρο και ένα αμπερόμετρο. Στον πιο κάτω χώρο, να σχεδιάσετε το διάγραμμα του ηλεκτρικού κυκλώματος και να δείξετε τον τρόπο που πρέπει να συνδεθούν οι πιο πάνω ηλεκτρικές συσκευές, ώστε η Άντρια να μετρά το ηλεκτρικό ρεύμα που διαρρέει τους αντιστάτες και τη διαφορά δυναμικού στα άκρα του καθενός.

**Διάγραμμα ηλεκτρικού κυκλώματος**

2. Αφού συζητήσετε με τον /την εκπαιδευτικό σας για την ορθότητα του διαγράμματός σας να φτιάξετε το ηλεκτρικό κύκλωμα.
3. Να μετρήσετε τη διαφορά δυναμικού στα άκρα του κάθε αντιστάτη καθώς και την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον κάθε αντιστάτη. Να συμπληρώσετε τον Πίνακα 1-5 με τις τιμές της διαφοράς δυναμικού και της έντασης.

**Πίνακας 1- 5**

Αντιστάτης	Διαφορά δυναμικού (V)	Ένταση (I)
Αντιστάτης 1		
Αντιστάτης 2		
Αντιστάτης 3		

4. Σύμφωνα με τις πιο πάνω μετρήσεις, ποιος από τους τρεις αντιστάτες ότι έχει μεγαλύτερη ηλεκτρική αντίσταση (R); Να εξηγήσετε τη σκέψη σας.

---

---

5. Να χρησιμοποιήσετε τις τιμές του Πίνακα 1-5 και να υπολογίσετε το πηλίκο της διαφοράς δυναμικού διά την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος για κάθε αντιστάτη. Να συμπληρώσετε τις τιμές στον Πίνακα 1-6.

**Πίνακας 1- 6**

<b>Αντιστάτης</b>	<b>Διαφορά δυναμικού / Ένταση</b>
Αντιστάτης 1	
Αντιστάτης 2	
Αντιστάτης 3	

6. Να χρησιμοποιήσετε ένα πολύμετρο για να μετρήσετε την αντίσταση (R) του κάθε αντιστάτη. Για κάθε αντιστάτη να συγκρίνετε την τιμή της αντίστασης που μετρήσατε με το πολύμετρο με αντίστοιχο πηλίκο που υπολογίσατε στον Πίνακα 1-6. Τι παρατηρείτε;

---

---

---

**Δραστηριότητα 1- 4:** «Η αντίσταση ενός ωμικού αντιστάτη εξαρτάται από την διαφορά δυναμικού που εφαρμόζεται στα άκρα του και το ρεύμα που τον διαρρέει;»

1. Στον πιο κάτω χώρο, να σχεδιάσετε ένα κύκλωμα το οποίο θα φτιάχνατε για να απαντήσετε στο πιο πάνω ερώτημα.

2. Ποιες μετρήσεις θα κάνατε για να απαντήσετε στο πιο πάνω ερώτημα;

---

---

---

3. Αφού συζητήσετε τη διαδικασία που θα ακολουθήσετε με τον/την εκπαιδευτικό σας να προχωρήσετε στη λήψη των μετρήσεων. Τις μετρήσεις που θα πάρετε να τις καταχωρίσετε σε έναν πίνακα τιμών.

4. Με βάση τα δεδομένα που έχετε στη διάθεσή σας μπορείτε να απαντήσετε στο αρχικό ερώτημα; Αν ναι, να γράψετε την απάντηση.

---

---

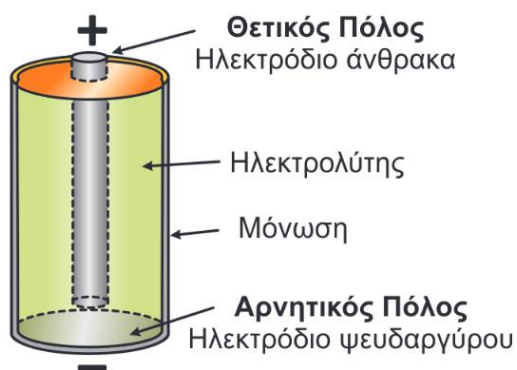
## Ηλεκτρικές πηγές

Ηλεκτρικές πηγές ονομάζουμε τις συσκευές που προκαλούν ηλεκτρικό ρεύμα σε έναν αγωγό, διατηρώντας στα άκρα του διαφορά δυναμικού.

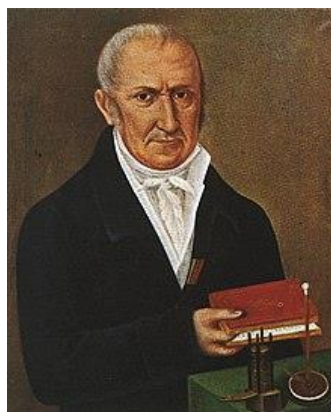
### A. Μπαταρία

Οι μπαταρίες που χρησιμοποιούμε στην καθημερινότητα μας σε ηλεκτρικές συσκευές όπως το κινητό τηλέφωνο, τα φανάρια χειρός, και πολλές άλλες μικροσυσκευές, ή ακόμα και τα ηλεκτροκίνητα οχήματα αποτελούνται από στοίβες ηλεκτροχημικών κελιών. Κάθε κελί αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια (δύο διαφορετικά μέταλλα, π.χ. ψευδάργυρος και χαλκός) βυθισμένα σε ένα ηλεκτρολύτη (π.χ. θειικό οξύ). Μέσω χημικών αντιδράσεων με τον ηλεκτρολύτη, το ένα ηλεκτρόδιο φορτίζεται θετικά και το άλλο αρνητικά, οι δύο πόλοι της μπαταρίας. Όταν τα άκρα ενός αγωγού συνδεθούν με τους φορτισμένους πόλους της μπαταρίας, τα φορτία των πόλων δημιουργούν ηλεκτρικές δυνάμεις στο εσωτερικό του αγωγού. Οι δυνάμεις αυτές προκαλούν προσανατολισμένη ροή των ελεύθερων φορτίων στο εσωτερικό του αγωγού, δηλαδή ηλεκτρικό ρεύμα.

Μία μπαταρία έχει περιορισμένο χρονικό διάστημα λειτουργίας (χρόνο ζωής) επειδή τα υλικά που συμμετέχουν στις χημικές αντιδράσεις εξαντλούνται. Όταν συμβεί αυτό, οι πόλοι της μπαταρίας χάνουν το φορτίο τους, και η μπαταρία χάνει την ικανότητα να δημιουργεί ηλεκτρικές δυνάμεις στο εσωτερικό ενός αγωγού.



Εικόνα 1- 11: Μια τυπική μπαταρία ξηρού τύπου



Εικόνα 1- 12: Ο Ιταλός φυσικός και χημικός Alessandro Volta (1745 - 1827) που εφηύρε την μπαταρία το 1800

## Δραστηριότητα 1- 5: Κατασκευή αυτοσχέδιας μπαταρίας

### Υλικά:

- Χυμός από φρούτα, ξύδι, αναψυκτικό
- Λωρίδες από ψευδάργυρο και χαλκό (ή κέρματα των 2 σεντς και μικρά συνδετηράκια)
- Μπαταρία 1,5V
- Λαμπτήρας LED ή λαμπτήρας ψείρα 40mA, 2V

### Μέθοδος

1. Να συνδέσετε τον λαμπτήρα ψείρα σε ένα απλό κύκλωμα με μια μπαταρία. Τι παρατηρείτε;

---

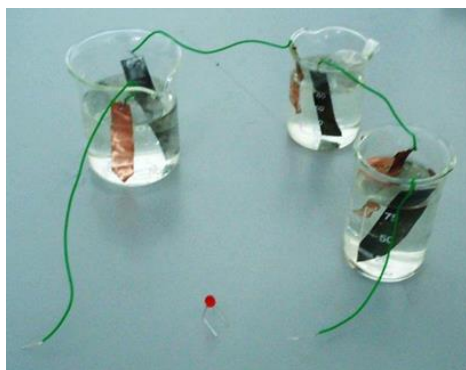
---

2. Να γεμίσετε τρία ποτηράκια με χυμό μέχρι τη μέση. Να βυθίσετε στο κάθε ποτηράκι από μια χάλκινη λωρίδα και μια λωρίδα από ψευδάργυρο. Αφού συνδέσετε τις μεταλλικές λωρίδες με καλώδια, όπως φαίνεται στη Εικόνα 1-13, να συνδέσετε τα ακρινά καλώδια με το λαμπτήρα. Τι παρατηρείτε;

---

---

---



**Εικόνα 1- 13:** Κατασκευή μπαταρίας με απλά υλικά

**Σημείωση:** Ο λαμπτήρας LED έχει πολικότητα. Στο 1<sup>ο</sup> μέρος του πειράματος θα πρέπει να συνδέσετε τον θετικό πόλο της μπαταρίας με το μακρύ πόδι του λαμπτήρα. Για το 2<sup>ο</sup> μέρος του πειράματος θα πρέπει να συνδέσετε το μακρύ πόδι του λαμπτήρα στη χάλκινη λωρίδα.

3. Ένας μαθητής υποστηρίζει ότι «σε κάθε νέα μπαταρία υπάρχει αποθηκευμένο ένα ορισμένο ποσό ηλεκτρικού ρεύματος». Να σχολιάσετε αυτή την άποψη.

---

---

---



### Ένθετο: Μπαταρίες και επιπτώσεις στο περιβάλλον

Οι μπαταρίες περιέχουν βαριά μέταλλα όπως υδράργυρο, μόλυβδο και κάδμιο. Τα βαριά αυτά μέταλλα είναι πολύ επικίνδυνα (τοξικά) για τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Γι' αυτό τον λόγο δεν πρέπει να προσπαθήσετε σε καμιά περίπτωση να τις ανοίξετε. Παρακάτω αναλύονται κάποιες από τις επιπτώσεις στο περιβάλλον και στον άνθρωπο από αυτά τα μέταλλα.

Ο υδράργυρος (Hg), ένα από τα βαριά μέταλλα, έχει προκαλέσει πολλά προβλήματα στο περιβάλλον λόγω της τοξικότητάς του και της εκτεταμένης χρήσης του στη σύγχρονη κοινωνία. Η πιο σοβαρή περίπτωση ρύπανσης του περιβάλλοντος που οφείλεται στον υδράργυρο είναι γνωστή ως περίπτωση Μινιμάτα. Η Μινιμάτα είναι ένα μικρό χωριό στην Ιαπωνία. Το 1950 κατασκευάστηκε εκεί ένα εργοστάσιο που χρησιμοποιούσε υδράργυρο. Το 1953 εμφανίστηκε μια παράξενη ασθένεια στους κατοίκους αυτού του χωριού. Επακολούθησαν θάνατοι και κινητοποιήθηκαν οι Οργανισμοί Υγείας. Έτσι το 1963 το αίτιο βρέθηκε. Ήταν ο υδράργυρος. Σημειώνουμε πόσο επικίνδυνη είναι για τη δημόσια υγεία η απόρριψη άδειων ή φθαρμένων μπαταριών. Θα ήταν σημαντικό να προσθέσουμε ότι προκαλεί σοβαρές βλάβες στο νευρικό σύστημα των ανθρώπων και των ζώων.

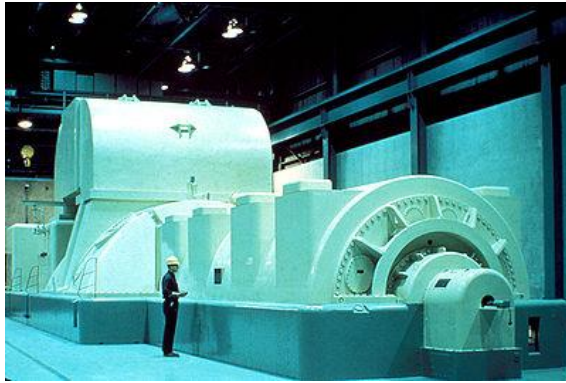
Ο μόλυβδος (Pb) ανήκει, όπως και ο ψευδάργυρος (Zn), στα βαριά μέταλλα. Η χρήση του στη σύγχρονη τεχνολογία είναι συνεχώς αυξανόμενη. Εξαιτίας αυτής της εκτεταμένης χρήσης του μολύβδου, έχει αυξηθεί σημαντικά η συγκέντρωσή του στο περιβάλλον. Ο μόλυβδος προκαλεί διάφορα συμπτώματα όπως πόνους στην κοιλιά, ναυτία, συσπάσεις των μυών κ.λπ. Γι' αυτό δεν πρέπει να πετάμε τις άδειες μπαταρίες, αφού περιέχουν μεγάλες ποσότητες μολύβδου.

Είναι συνεπώς σημαντικό να ανακυκλώνουμε τις μπαταρίες. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να προφυλάξουμε το περιβάλλον από μια πιθανή μόλυνση και ταυτόχρονα να αποτρέψουμε την εξάντληση των μετάλλων που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μπαταριών.

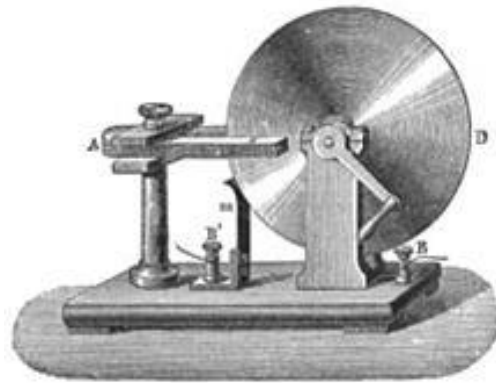
## B. Ηλεκτρογεννήτριες

Όταν ένα μεταλλικό πλαίσιο (όπως π.χ. ένα κομμένο δαχτυλίδι) περιστρέφεται στο εσωτερικό ενός μαγνητικού πεδίου, τα άκρα του πλαισίου φορτίζονται με αντίθετα φορτία. Εάν συνδέσουμε τα άκρα του περιστρεφόμενου πλαισίου με έναν αγωγό, ο αγωγός αρχίζει να διαρρέεται από ρεύμα. Άρα, ένα πλαίσιο που περιστρέφεται στο εσωτερικό μαγνητικού πεδίου, λειτουργεί σαν μπαταρία. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ηλεκτρομαγνητική επαγωγή, και μελετήθηκε από τον Michael Faraday (1791-1867).

Η ηλεκτρομαγνητική επαγωγή χρησιμοποιείται στις **ηλεκτρογεννήτριες**, όπως οι ανεμογεννήτριες και υδρογεννήτριες. Οι συσκευές αυτές περιέχουν μία διάταξη (π.χ. έναν τροχό, ή έναν έλικα), που μπορεί να περιστρέφεται υπό την επίδραση του νερού ή του ανέμου. Η περιστροφή της διάταξης προκαλεί περιστροφή πλαισίων στο εσωτερικό μαγνητικού πεδίου, και δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος.



**Εικόνα 1- 14:** Μια σύγχρονη ηλεκτρογεννήτρια με ατμολέβητα



**Εικόνα 1- 15:** Η πρώτη ηλεκτρογεννήτρια που εφηύρε το 1831 ο Άγγλος επιστήμονας Michael Faraday (1791-1867)

Για περισσότερες πληροφορίες μπορείτε να επισκεφτείτε τις ιστοσελίδες:

<https://www.youtube.com/watch?v=coWQ1R2r5MY>

<https://www.youtube.com/watch?v=2LlvPBUIf2w>

<https://www.youtube.com/watch?v=DILJJwsFI3w>

### Γ. Φωτοβολταϊκό στοιχείο

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι συσκευές τα οποία μετατρέπουν το φως σε ηλεκτρική ενέργεια. Κατασκευάζονται από υλικά όπως η σιλικόνη (Si) τα οποία όταν εκτεθούν στο φως, μετατρέπουν ένα ποσοστό της ενέργειας που μεταφέρει το φως σε ηλεκτρική. Ο Γάλλος φυσικός Edmond Becquerel (1820-1891) κατασκεύασε το πρώτο φωτοβολταϊκό στοιχείο το 1839, και το 1958 χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά φωτοβολταϊκά πλαίσια στη διαστημική αποστολή του δορυφόρου Vanguard.



**Εικόνα 1- 16:** Ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο



**Εικόνα 1- 17:** Ο Γάλλος φυσικός Edmond Becquerel που κατασκεύασε το πρώτο φωτοβολταϊκό στοιχείο το 1839

## Βιοκαύσιμα

Βιοκαύσιμα ονομάζουμε τα καύσιμα που προέρχονται από τη βιομάζα που αποτελείται από μέρος των οικιακών αποβλήτων (π.χ. φλοιοί και υπολείμματα φρούτων, λαχανικών και τροφίμων) και τα ζωικά απόβλητα (π.χ. κοπριές από χοιρινά, κοτόπουλα και βοοειδή). Κατά την αποσύνθεση των αποβλήτων ελευθερώνεται μεθάνιο (φυσικό αέριο). Με τη συλλογή και επεξεργασία των συγκεκριμένων αποβλήτων σε ειδικά εργοστάσια μπορούμε να συλλέξουμε το φυσικό αέριο που απελευθερώνεται. Το φυσικό αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμη ύλη σε ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς ή βιομηχανικές μονάδες.

## Γεωθερμική ενέργεια

Σε κάποια μέρη της Γης, τα πετρώματα που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια της Γης είναι πάρα πολύ ζεστά. Η ροή νερού μέσα από αυτά τα πετρώματα οδηγεί στη θέρμανσή του. Με άλλα λόγια η μεταφορά θερμότητας στο νερό από τα ζεστά πετρώματα οδηγεί στη αύξηση της θερμοκρασίας του νερού και τη μετατροπή του σε ατμό. Ο ατμός στη συνέχεια χρησιμοποιείται σε ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς (μετατροπή της θερμότητας σε ηλεκτρική ενέργεια). Η γεωθερμική ενέργεια περιλαμβάνεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Ο ατμός χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας



**Εικόνα 1- 18:** Σταθμός εκμετάλλευσης Γεωθερμικής Ενέργειας

## Αιολική ενέργεια

Η αιολική ενέργεια είναι η ενέργεια του ανέμου, που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω αιολικών γεννητριών. Οι αιολικές γεννήτριες είναι ανεμογεννήτριες, που χρησιμοποιούν τον άνεμο για να θέσουν σε περιστροφική κίνηση κατάλληλες ηλεκτρογεννήτριες στο εσωτερικό τους. Με αυτόν τον τρόπο, η ενέργεια του ανέμου προκαλεί τη δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος.



**Εικόνα 1- 19:** Αιολικό Πάρκο

### Θέμα για εργασία

Στην περιοχή σας πρόκειται να κατασκευαστεί ένας σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η πολιτεία έχει να επιλέξει μεταξύ της κατασκευής ενός (α) αιολικού πάρκου, (β) φωτοβολταϊκού πάρκου, (γ) σταθμού που λειτουργεί με πετρελαιοειδή, (δ) πυρηνικού σταθμού, (ε) υδροηλεκτρικού σταθμού και (στ) γεωθερμικού σταθμού.

Ως ομάδες ενεργών πολιτών θα πρέπει να τοποθετηθείτε με επιχειρήματα υπέρ της κατασκευής ενός από τους πιο πάνω σταθμούς και να τοποθετηθείτε με επιχειρήματα εναντίον των υπόλοιπων σταθμών. Για το σκοπό αυτό θα πρέπει βρείτε δεδομένα που υποστηρίζουν την κατασκευή του σταθμού που προτείνετε καθώς και δεδομένα που δεν υποστηρίζουν την κατασκευή των υπόλοιπων σταθμών.

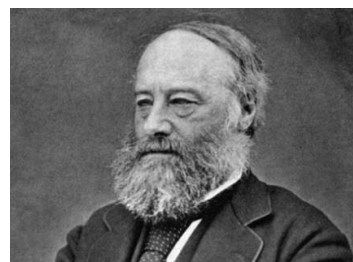
### Στάδια:

1. Ψάξτε για δεδομένα που να υποστηρίζουν την επιλογή σας. Π.χ. στην περιοχή που μένετε φυσά άνεμος για αρκετές ώρες τη μέρα ώστε να είναι δυνατή η κατασκευή ενός αιολικού πάρκου;
2. Κατασκευάστε και καταγράψτε επιχειρήματα υπέρ και κατά της επιλογής σας. Ιεραρχείστε τα ξεκινώντας από το πιο ισχυρό και αιτιολογείστε, βασισμένοι στα δεδομένα σας, την ιεράρχησή σας.
3. Σκεφτείτε και καταγράψτε το επιχείρημα που νομίζετε ότι οι υπόλοιπες ομάδες θα χρησιμοποιήσουν εναντίον της επιλογής που υποστηρίζετε. Βασιστείτε σε δεδομένα.
4. Φτιάξτε μια παρουσίαση στην οποία θα συμπεριλάβετε τα επιχειρήματά σας με στόχο να πείσετε τις υπόλοιπες ομάδες για την επιλογή σας. Να είστε έτοιμοι να αντιμετωπίσετε τις ενστάσεις των υπόλοιπων ομάδων χρησιμοποιώντας δεδομένα και επιχειρήματα.

## Τα θερμικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος

### Αντίσταση και ηλεκτρική ενέργεια

Όταν ένας λαμπτήρας, μια ηλεκτρική εστία, ένας ηλεκτρικός θερμοσίφωνας, μια ηλεκτρική θερμάστρα διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα, θερμαίνονται. Το φαινόμενο αυτό το μελέτησε πρώτος ο Άγγλος Φυσικός James Joule (Τζάουλ).



Εικόνα 1- 20: James Joule (1818-1889)

Η αύξηση της θερμοκρασίας ενός αγωγού που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, οφείλεται στη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας των ελευθέρων ηλεκτρονίων σε κινητική ενέργεια των ελευθέρων ηλεκτρονίων και σε εσωτερική ενέργεια του αγωγού.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται σε μια ηλεκτρική συσκευή μετατρέπεται σε άλλες μορφές ενέργειας, ανάλογα με τη συσκευή. Κατά τη λειτουργία ηλεκτρικών συσκευών όπως ο βραστήρας, ο θερμοσίφωνας, το καλοριφέρ κλπ, η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε εσωτερική ενέργεια και η συσκευή θερμαίνεται.

### Εφαρμογές του φαινομένου του Τζάουλ

Η λειτουργία πολλών συσκευών τις οποίες χρησιμοποιούμε στην καθημερινή μας ζωή βασίζεται στο φαινόμενο του Τζάουλ. Μερικές από αυτές είναι:

- **Λαμπτήρας πυρακτώσεως**

Αν η θερμοκρασία ενός μεταλλικού σύρματος αυξηθεί αρκετά, τότε το σύρμα φωτοβολεί. Ένα μέρος της εσωτερικής ενέργειας μετατρέπεται σε φωτεινή. Σε αυτό το φαινόμενο στηρίζεται η κατασκευή των λαμπτήρων πυρακτώσεως. Η θερμοκρασία τους μεταλλικού σύρματος στο εσωτερικό ενός λαμπτήρα ανέρχεται περίπου στους 2000 °C σε συνθήκες λειτουργίας.



Εικόνα 1- 21: Λαμπτήρας Πυρακτώσεως

- **Ηλεκτρική κουζίνα και ηλεκτρικός θερμοσίφωνας**

Η ηλεκτρική κουζίνα και ο ηλεκτρικός θερμοσίφωνας αποτελούνται από ένα ή περισσότερους αντιστάτες. Όταν οι αντιστάτες διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα, η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε εσωτερική ενέργεια και αυξάνεται η θερμοκρασία τους. Επειδή οι αντιστάτες (σώματα υψηλής θερμοκρασίας) βρίσκονται σε επαφή με άλλα σώματα χαμηλότερης θερμοκρασίας (μαγειρικά σκεύη, νερό), μεταφέρεται θερμότητα από τους αντιστάτες στα μαγειρικά σκεύη και στο νερό με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία τους.



Εικόνα 1- 22: Ηλεκτρική κουζίνα



Εικόνα 1- 23: Ηλεκτρικός θερμοσίφωνας

**Ερώτηση:** Να αναφέρετε παραδείγματα όπου η μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε εσωτερική ενέργεια είναι: (α) επιθυμητή (β) μη επιθυμητή.

**Δραστηριότητα 1- 6** (πείραμα επίδειξης από τον εκπαιδευτικό): Θερμικά αποτελέσματα ηλεκτρικού ρεύματος

Να πάρετε ένα κομμάτι μήκους 5 cm από ψιλό σύρμα καθαρισμού κουζίνας χωρίς κάποιο απορροπταντικό σε αυτό. Να συνδέσετε τις δύο άκρες του στους πόλους μιας μπαταρίας 9 V χρησιμοποιώντας δύο καλώδια. Να γράψετε τις παρατηρήσεις σας και να δώσετε μια εξήγηση.

---

---

---

---

---

### Τα μαγνητικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος

Μέχρι το 1820, οι σιδερένιοι μαγνήτες και ο μαγνητίτης ήταν οι μόνες γνωστές «πηγές» μαγνητισμού. Αυτό άλλαξε το 1820, όταν ο Hans Christian Oersted, καθηγητής Επιστήμης του Πανεπιστημίου της Κοπεγχάγης στη Δανία, οργάνωσε στο σπίτι του μια υποδειγματική διδασκαλία, στην οποία κάλεσε φίλους και μαθητές του. Βασικός σκοπός αυτής της διδασκαλίας ήταν να κάνει μια πειραματική επίδειξη του φαινομένου θέρμανσης ενός αγωγού, όταν αυτός διαρρέεται από ρεύμα. Ωστόσο, θα έκανε και επίδειξη διαφόρων πειραμάτων μαγνητισμού, στα οποία θα χρησιμοποιούσε μια πυξίδα τοποθετημένη πάνω σε μια ξύλινη βάση.



**Εικόνα 1- 24:** Hans Christian Oersted.

Καθώς ο Oersted εκτελούσε το πείραμα με τον ρευματοφόρο αγωγό, παρατήρησε ότι κάθε φορά που έκλεινε τον διακόπτη, η βελόνα της πυξίδας εκτρεπόταν. Αυτή η παρατήρηση έδειξε ότι, **ένας αγωγός που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, δημιουργεί μαγνητικό πεδίο**. Αυτό που τελικά κατάφερε ο Oersted ήταν να δείξει ότι ο μαγνητισμός συνδέεται άμεσα με τον ηλεκτρισμό. Παρόλα αυτά, δεν μπόρεσε να δώσει μια πλήρη εξήγηση για το τι ακριβώς συνέβαινε.

Αυτός που κατάφερε τελικά να συνδέσει τον μαγνητισμό με τον ηλεκτρισμό, ήταν ο Σκοτσέζος James Clerk Maxwell (1831-1879). Το κατάφερε αυτό δημοσιεύοντας μια σειρά από εξισώσεις, οι οποίες αποτελούν, μέχρι σήμερα, τη βάση της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας.

Έτσι, με τη βοήθεια αυτής της γνώσης μπόρεσε ο άνθρωπος να επινοήσει τεχνολογικές εφαρμογές όπως είναι οι τηλεοράσεις και τα τηλέφωνα στον τομέα της ηλεκτρονικής, πώς δουλεύουν οι συσκευές εγγραφής στους σκληρούς δίσκους των

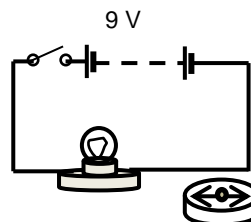
ηλεκτρονικών υπολογιστών, τα ακουστικά, οι πιστωτικές κάρτες, τα μαγνητικά αιωρούμενα τρένα, οι ηλεκτρομαγνήτες, κ.λπ.

### Δραστηριότητα 1- 7: Μαγνητικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος

#### Πείραμα

##### Υλικά:

- Τροφοδοτικό
- Λαμπτήρας
- Διακόπτης
- Πυξίδα/ συσκευή Oersted
- Καλώδια



**Εικόνα 1- 25:** Πειραματική διάταξη για τη μελέτη των μαγνητικών αποτελεσμάτων του ηλεκτρικού ρεύματος

1. Να φτιάξετε το κύκλωμα της Εικόνας 1-25.

2. Να φέρετε δίπλα σε ένα από τα καλώδια του κυκλώματος μια πυξίδα και να κλείσετε τον διακόπτη. Να γράψετε τις παρατηρήσεις σας.

---

---

3. Να αντιστρέψετε τα καλώδια στους πόλους της μπαταρίας και να γράψετε τις παρατηρήσεις σας.

---

---

4. Να δώσετε μια εξήγηση για τις παρατηρήσεις που γράψατε πιο πάνω.

---

---

## Ηλεκτρική Ισχύς

Στον Πίνακα 1-7 δίνονται δεδομένα για τρεις διαφορετικού τύπου λαμπτήρων φωτισμού. Αν έπρεπε να επιλέξετε έναν από τους λαμπτήρες για να τοποθετήσετε στο δωμάτιό σας ποιον θα προτιμούσατε; Να αναφέρετε ποια από τα δεδομένα στηρίζουν την επιλογή σας.

Πίνακας 1-7

	Λαμπτήρας Πυρακτώσεως	Λαμπτήρας φθορισμού	Λαμπτήρας LED
			
Ισχύς	40 W	9 W	7 W
Φωτεινότητα	550 lumens	550 lumens	700 lumens
Αποδοτικότητα (lumens / Watt)	14 lumens / Watt	61 lumens / Watt	100 lumens / Watt

Η ηλεκτρική ενέργεια που μετατρέπεται σε άλλες μορφές ανά μονάδα χρόνου σε οποιαδήποτε συσκευή ονομάζεται **ηλεκτρική ισχύς**. Η ηλεκτρική ισχύς ισούται με το γινόμενο της έντασης του ρεύματος που διαρρέει τη συσκευή, επί τη διαφορά δυναμικού στα άκρα της συσκευής.

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = I \cdot \Delta V$$

Η μονάδα μέτρησης της ισχύος είναι το watt (W). Το  $1 \text{ W} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}}$ .

Αν γνωρίζουμε την ηλεκτρική ισχύ μιας συσκευής, μπορούμε να υπολογίσουμε την ηλεκτρική ενέργεια,  $\Delta E$ , που μετατρέπεται σε άλλες μορφές από τη συσκευή σε χρονικό διάστημα λειτουργίας  $\Delta t$ , από τη σχέση:

$$\Delta E = P \cdot \Delta t$$

Η ισχύς μιας συσκευής είναι ένα σημαντικό στοιχείο που πρέπει να προσέχουμε πριν αγοράσουμε μια ηλεκτρική συσκευή. Σύμφωνα με τον Πίνακα 1-7, παρατηρούμε ότι ένας λαμπτήρας πυρακτώσεως ισχύος 40 W έχει ίδια φωτεινότητα με ένα λαμπτήρα φθορισμού ισχύος 9W. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ένα μεγάλο μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που μεταφέρεται σε ένα λαμπτήρα πυρακτώσεως μετατρέπεται σε άλλες μη χρήσιμες μορφές ενέργειας. Συνεπώς, η επιλογή ενός λαμπτήρα φθορισμού ή ενός λαμπτήρα τύπου LED είναι καλύτερη σε σχέση με ένα λαμπτήρα πυρακτώσεως.



Μια χρήσιμη ποσότητα ενέργειας που αναγράφεται και στους λογαριαμούς της Αρχής Ηλεκτρισμού Κύπρου είναι η Κιλοβατώρα (kWh), η οποία ορίζεται ως η ηλεκτρική ενέργεια που μετατρέπεται σε άλλες μορφές από μια συσκευή ισχύος 1 kW, σε μια ώρα λειτουργίας. Στην Εικόνα 1- 26 παρατίθεται μέρος από την αναλυτική κατάσταση από το λογαριασμό της ΑΗΚ.

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΜΕΤΡΗΤΗ (kWh)		ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 02/10/2017 - 01/12/2017		Αξία (€)
Διατίμηση	Τελευταία	Προηγούμενη	ΣΜ Κατανάλωση	
01	5682	5082	- 600	
56	24600	24000	- 600	
<b>Σύνολο κατανάλωσης</b>			<b>1200 kWh</b>	
<b>Αντίστοιχη περσινή κατανάλωση</b>			<b>1143 kWh</b>	
<b>Χρεώσεις Διατίμησης 01</b>				
Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας (600 kWh x €0.0920)				55,20
Χρήση Δικτύου (600 kWh x €0,0313)				18,78
Επικουρικές Υπηρεσίες (600 kWh x €0,0067)				4,02
Μέτρηση Κατανάλωσης				0,98
Προμήθεια Ηλεκτρικής Ενέργειας				4,66
<b>Σύνολο με Βασική Τιμή Καυσίμων</b>				<b>83,64</b>
<b>Χρεώσεις Διατίμησης 56</b>				
Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας (600 kWh x €0,0753)				45,18
Χρήση Δικτύου (600 kWh x €0,0313)				18,78
Επικουρικές Υπηρεσίες (600 kWh x €0,0067)				4,02
Μέτρηση Κατανάλωσης				0,00
Προμήθεια Ηλεκτρικής Ενέργειας				0,00
<b>Σύνολο με Βασική Τιμή Καυσίμων</b>				<b>67,98</b>
Ειδική Έκπτωση Διατίμησης (600 kWh x €0,0372)				-22,32
Αναπροσαρμογή Καυσίμων (1200 kWh x €0,005693)				6,83
Υποχρεώσεις Δημόσιας Ωφελείας (1200 kWh x €0,00065)				0,78
<b>Σύνολο πριν το ΦΠΑ (19%)</b>				<b>136,91</b>
Ταμείο ΑΠΕ & ΕΞΕ (1200 kWh x €0,01)				12,00
Τόκος για εκπρόθεσμη εξόφληση				1,00
<b>Σύνολο χρεώσεων περιόδου εκτός ΦΠΑ</b>				<b>149,91</b>
ΦΠΑ (19%)				26,01
<b>Σύνολο χρεώσεων περιόδου</b>				<b>175,92</b>
Ανεξόφλητο ποσό προηγούμενου λογαριασμού				150,00
<b>Ποσό πληρωμής Πληρωτέο μέχρι 27/07/2017</b>				<b>€325,92</b>



Εικόνα 1- 25: Απόκομμα από την αναλυτική κατάσταση από το λογαριασμό της ΑΗΚ

Για περισσότερες πληροφορίες μπορείτε να επισκεφτείτε την ιστοσελίδα: [www.eac.com.cy](http://www.eac.com.cy)

### Ερωτήσεις

1. Στο κύκλωμα μιας οικίας μπορούν να συνδεθούν διάφορες ηλεκτρικές συσκευές. Κάθε συσκευή που συνδέεται στο κύκλωμα βρίσκεται σε διαφορά δυναμικού 220 V. Η ισχύς ενός ηλεκτρικού βραστήρα είναι 1500 W. Πόση ηλεκτρική ενέργεια θα μετατραπεί από τον βραστήρα σε άλλες μορφές, αν ο βραστήρας λειτουργήσει για 2 λεπτά;

2. Ένας ηλεκτρικός λαμπτήρας πυρακτώσεως ισχύος 150 W είναι αναμμένος για 7 ώρες.

A. Να υπολογίσετε την ηλεκτρική ενέργεια που μετατρέπεται από τον λαμπτήρα σε άλλες μορφές σε αυτόν τον χρόνο.

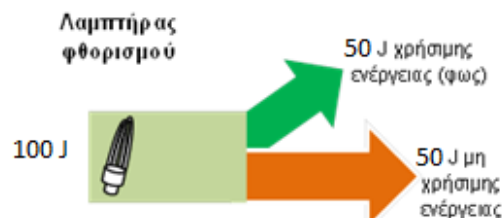
B. Εάν μια κιλοβατώρα ενέργειας χρεώνεται με 14 σεντ, πόσο κοστίζει η λειτουργία του λαμπτήρα για τον χρόνο λειτουργίας του;

## Δραστηριότητα 1- 8: Ενεργειακή απόδοση λαμπτήρων φωτισμού

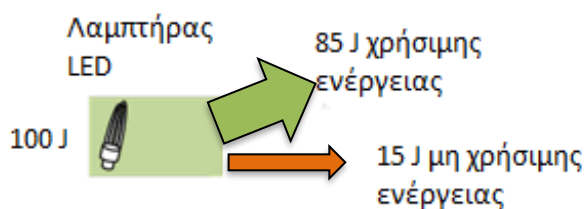
Τα διαγράμματα στις Εικόνες 1-27, 1-28 και 1-29 δείχνουν ενδεικτικά ποσά της χρήσιμης και της μη χρήσιμης ενέργειας που μετατρέπεται από τρεις διαφορετικού τύπου λαμπτήρες σε κάθε ένα δευτερόλεπτο.



**Εικόνα 1- 26:** Ενεργειακό διάγραμμα λαμπτήρα πυρακτώσεως



**Εικόνα 1- 27:** Ενεργειακό διάγραμμα λαμπτήρα φθορισμού



**Εικόνα 1- 28:** Ενεργειακό διάγραμμα λαμπτήρα τύπου LED

1. Ποιες είναι οι μορφές ενέργειας στις οποίες μετατρέπεται η ηλεκτρική ενέργεια στους λαμπτήρες;

---

---

2. Ποιος από τους λαμπτήρες μετατρέπει περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια σε άλλες μορφές ενέργειας κάθε ένα δευτερόλεπτο;

---

3. Ποιος από τους λαμπτήρες είναι πιο αποδοτικός;

---

4. Να εισηγηθείτε αλλαγές που μπορείτε να κάνετε στο σπίτι σας, ώστε οι επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον από τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας να μειωθούν.

---

---

### Εργασία για το σπίτι: Έρευνα ενεργειακών μετατροπών

1. Να συμπληρώσετε τον Πίνακα 1-8 που ακολουθεί με τις ηλεκτρικές συσκευές που χρησιμοποιείτε στο σπίτι σας καθημερινά.
2. Να συμπληρώσετε στη στήλη «χρόνος καθημερινής λειτουργίας» του πίνακα, τον μέσο χρόνο που χρησιμοποιείτε την κάθε συσκευή κάθε μέρα.
3. Να γράψετε στη στήλη «ισχύς» του πίνακα την ισχύ της κάθε συσκευής. Για μικρές ηλεκτρικές συσκευές η ισχύς αναγράφεται συνήθως στο κάτω μέρος της συσκευής. Για μεγάλες ηλεκτρικές συσκευές η ισχύς αναγράφεται στο εγχειρίδιο με τις οδηγίες χρήσης της συσκευής.

**Προσοχή!!:** Να αποσυνδέσετε την ηλεκτρική συσκευή από τον ρευματοδότη (πρίζα) πριν ψάξετε για τον πίνακα με τα στοιχεία της.

**Πίνακας 1- 8**

Ηλεκτρική συσκευή	Μέσος χρόνος καθημερινής λειτουργίας (ώρες, h)	Ισχύς (kW)	Ενέργεια που μετατρέπεται σε άλλες μορφές ανά μέρα (kWh)	Κόστος λειτουργίας ανά μέρα (σεντ)
Ηλεκτρικός Βραστήρας				
Τηλεόραση				

## Ένθετο: Ενεργειακή σήμανση ηλεκτρικών συσκευών

Η ενεργειακή σήμανση των οικιακών συσκευών παρέχει στους καταναλωτές, κατά τρόπο απλό και κατανοητό, ακριβείς, αναγνωρίσιμες και συγκρίσιμες πληροφορίες για την κατανάλωση ενέργειας, τις επιδόσεις και άλλα ουσιώδη χαρακτηριστικά (όπως για παράδειγμα η χωρητικότητα, η κατανάλωση νερού κ.α.), των προϊόντων οικιακής χρήσης. Ουσιαστικά συνιστά το σύμβουλο των καταναλωτών στην επιλογή εκείνου του προϊόντος με το χαμηλότερο, συγκριτικά, κόστος λειτουργίας. Δεδομένου ότι ο χρόνος ζωής μιας οικιακής συσκευής είναι, κατά κανόνα, μεγαλύτερος από 10 έτη, το χαμηλό ετήσιο κόστος λειτουργίας της αποτελεί έναν από τους βασικότερους παράγοντες επιλογής της.

Οι πληροφορίες αυτές παρέχονται υπό μορφή εικονογραμμάτων σε ετικέτα, που είναι ενιαία για όλα τα προϊόντα μιας συγκεκριμένης κατηγορίας, και η οποία υποχρεωτικά συνοδεύει τα υπόψη προϊόντα που διατίθενται προς πώληση σε όλα τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ανεξάρτητα από τη χώρα παραγωγής τους.

Η ετικέτα κάθε προϊόντος περιλαμβάνει, κατά κανόνα, επτά (7) τάξεις ενεργειακής απόδοσης, που ανάλογα με το είδος του προϊόντος κλιμακώνονται από το G (κόκκινο χρώμα που αφορά προϊόν χαμηλής απόδοσης) έως το A+++ (σκούρο πράσινο χρώμα που υποδηλώνει ιδιαίτερα αποδοτικό προϊόν). Η σήμανση κάθε προϊόντος γίνεται με έγχρωμο βέλος η αιχμή του οποίου είναι απέναντι από την αντίστοιχη τάξη ενεργειακής απόδοσής του.



### Συγκριτικός Πίνακας

Εξοικονόμηση ενέργειας βάσει της ενεργειακής ταξινόμησης των συσκευών.

Πίνακας 1-9

ΤΑΞΗ	G	F	E	D	C	B	A	A+	A++	A+++
G										
F	8%									
E	22%	15%								
D	32%	25%	13%							
C	43%	38%	28%	17%						
B	57%	53%	45%	37%	24%					
A	67%	64%	58%	52%	42%	24%				
A+	74%	72%	67%	62%	55%	41%	22%			
A++	82%	80%	77%	73%	68%	58%	44%	29%		
A+++	85%	84%	81%	79%	74%	66%	56%	43%	20%	

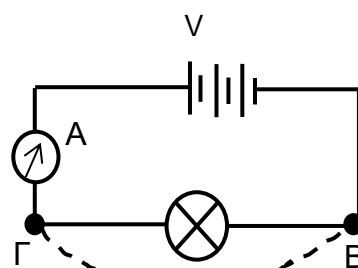
Ο Πίνακας 1-9 παρουσιάζει αναλυτικά την εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται από την αντικατάσταση ενός ψυγείου/ψυγείοκαταψύκτη συγκεκριμένης τάξης ενεργειακής απόδοσης, με ψυγεία/ψυγείοκαταψύκτες ανώτερης τάξης. Για παράδειγμα η αντικατάσταση μιας συσκευής τάξης ενεργειακής απόδοσης D με μια συσκευή τάξης ενεργειακής απόδοσης A<sup>+</sup>, οδηγεί σε εξοικονόμηση ενέργειας περίπου 62%, ενώ η αντικατάστασή της με μια συσκευή τάξης ενεργειακής απόδοσης A<sup>+++</sup>, οδηγεί σε εξοικονόμηση ενέργειας περίπου 79%. Τα παραπάνω συγκριτικά ποσοστά εξοικονόμησης ενέργειας υπολογίζονται βάσει της μέσης τιμής του εύρους του δείκτη ενεργειακής απόδοσης κάθε τάξης. Οι συγκρινόμενες συσκευές πρέπει να έχουν ισοδύναμα λειτουργικά χαρακτηριστικά (π.χ. οι όγκοι των θαλάμων συντήρησης και κατάψυξης των συγκρινόμενων συσκευών να είναι ίδιοι).

Πηγή: ΔΕΗ

## Βραχυκύκλωμα

Αρκετές φορές ακούμε στα δελτία ειδήσεων ότι η αιτία μερικών ατυχημάτων πυρκαγιάς σε σπίτια, εργοστάσια, και οχήματα είναι κάποιο βραχυκύκλωμα στην ηλεκτρική τους εγκατάσταση. *Τι είναι όμως το βραχυκύκλωμα και πώς προκαλείται;*

Το κύκλωμα Εικόνα 1-30, αποτελείται από ένα λαμπτήρα, μπαταρίες και ένα αμπερόμετρο συνδεδεμένα σε σειρά. Ο λαμπτήρας φωτοβολεί. Τι θα συμβεί, αν συνδέσουμε με ένα καλώδιο τις δύο άκρες του λαμπτήρα; Θα παρατηρήσουμε ότι ο λαμπτήρας θα σβήσει και η ένδειξη του αμπερομέτρου θα γίνει μέγιστη.



**Εικόνα 1- 30:** Το καλώδιο που συνδέεται μεταξύ των σημείων Β και Γ, προκαλεί βραχυκύκλωμα στο κύκλωμα

Από τον νόμο του Ohm,  $I = \Delta V/R$ , γνωρίζουμε ότι το ρεύμα που διαρρέει έναν αγωγό αντίστασης  $R$  είναι **αντιστρόφως ανάλογο** με την αντίσταση του αγωγού. Όταν στο κύκλωμα υπάρχει μόνο ο λαμπτήρας αντίστασης  $R_1$ , το κύκλωμα διαρρέεται από ρεύμα έντασης  $I_1 = \Delta V/R_1$ . Εάν συνδέσουμε τα άκρα του λαμπτήρα με ένα καλώδιο πολύ μικρής αντίστασης ( $R_2 \ll R_1$ ), το καλώδιο θα διαρρέεται από ρεύμα πολύ μεγαλύτερης έντασης:

$$1/R_2 \gg 1/R_1 \Rightarrow V/R_2 \gg V/R_1 \Rightarrow I_2 \gg I_1.$$

Η διαδρομή αυτή ονομάζεται **βραχυκύκλωμα**. Η αύξηση της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος στο κύκλωμα, θα προκαλέσει την αύξηση της θερμοκρασίας του καλωδίου και των μπαταριών, τα οποία μπορεί να αναφλεγούν προκαλώντας πυρκαγιά.

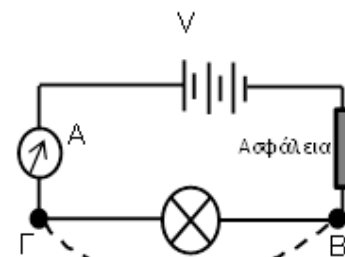
## Ασφάλειες

Η υπερθέρμανση των καλωδίων και της πηγής στο πιο πάνω κύκλωμα λόγω της ροής ρεύματος υπερβολικά μεγάλης έντασης, μπορεί να αποφευχθεί αν συνδέσουμε σε σειρά στο κύκλωμα ειδικές διατάξεις που ονομάζονται **ασφάλειες**, όπως φαίνεται στο κύκλωμα της Εικόνας 1-31.

Οι τηκόμενες ασφάλειες είναι κατασκευασμένες, συνήθως, από κάποιο υλικό που έχει χαμηλό σημείο τήξης. Εάν από βραχυκύκλωμα η ένταση του ρεύματος υπερβεί μια μέγιστη τιμή, η ασφάλεια υπερθερμαίνεται και τήκεται, διακόπτοντας το κύκλωμα. Οι τηκόμενες ασφάλειες τοποθετούνται συνήθως σε ηλεκτρικές συσκευές και σε ρευματολήπτες.

Στα ηλεκτρικά κυκλώματα των σπιτιών χρησιμοποιούνται θερμικοί ή ηλεκτρομαγνητικοί διακόπτες (αυτόματοι διακόπτες). Όταν η ένταση του ρεύματος υπερβεί μια μέγιστη τιμή, οι ασφάλειες αυτού του τύπου διακόπτουν το κύκλωμα. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των διακοπών αυτού του τύπου είναι ότι δεν καταστρέφονται και είναι αρκετά πιο ευαίσθητοι σε σχέση με τις τηκόμενες ασφάλειες.

**Προσοχή:** Η ασφάλεια που τοποθετείται σε ένα κύκλωμα, επιλέγεται με τρόπο κατά τον οποίο η τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα να μην υπερβαίνει την τιμή που προβλέπεται για την κανονική λειτουργία του κυκλώματος. Για κανέναν λόγο δεν θα πρέπει να αντικαθιστούμε μια κατεστραμμένη ασφάλεια σε ένα κύκλωμα με άλλη ασφάλεια διαφορετικής τιμής.



**Εικόνα 1- 29:** Πάνω: Ασφάλεια σε κύκλωμα. Κάτω: Τηκόμενες ασφάλειες και αυτόματοι διακόπτες



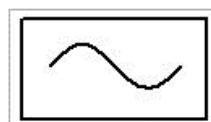
Τηκόμενες ασφάλειες



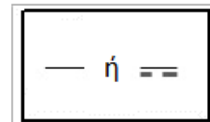
Αυτόματοι διακόπτες

## Κυκλώματα εναλλασσόμενου ρεύματος

Έχετε αναρωτηθεί ποτέ τι παριστάνουν τα σύμβολα στην Εικόνα 1-32, που υπάρχουν στις ετικέτες των ηλεκτρικών συσκευών;



AC



DC

Κάποιες ηλεκτρικές συσκευές, όπως ηλεκτρικός φακός, ξυριστική μηχανή, κινητό τηλέφωνο κ.λπ., λειτουργούν με συνεχές ρεύμα (Direct Current, DC) που παρέχεται στο κύκλωμά τους συνήθως από μια ή περισσότερες μπαταρίες. Άλλες ηλεκτρικές συσκευές, όπως το ψυγείο, το πλυντήριο ρούχων, η ηλεκτρική εστία κ.λπ., λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα (Alternative Current, AC) που παρέχεται στο κύκλωμά τους από τους ρευματοδότες που έχουμε στα σπίτια μας. Ποια όμως είναι η διαφορά μεταξύ του συνεχούς και του εναλλασσόμενου ρεύματος;

**Εικόνα 1- 30:** Σύμβολα εναλλασσόμενης και συνεχούς τάσης/ρεύματος

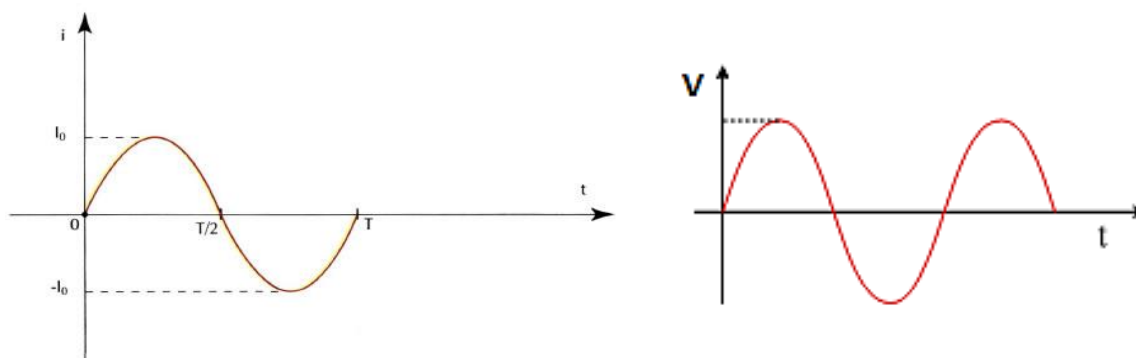
Σε αντίθεση με τα κυκλώματα συνεχούς ρεύματος στα οποία οι ηλεκτρικοί φορείς κινούνται συνεχώς προς την ίδια κατεύθυνση, τα οικιακά κυκλώματα διαρρέονται από εναλλασσόμενο ρεύμα. Στα κυκλώματα εναλλασσόμενου ρεύματος μεταβάλλεται η κατεύθυνση κίνηση των ελεύθερων φορέων. Η στιγμιαία τιμή της τάσης και της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος, περιγράφονται από τις σχέσεις:

$$\Delta V = \Delta V_0 \eta\mu 2\pi f t = \Delta V_0 \eta\mu \frac{2\pi}{T} t$$

και

$$I = I_0 \eta\mu 2\pi f t = I_0 \eta\mu \frac{2\pi}{T} t$$

όπου  $\Delta V_0$  και  $I_0$  αντιστοιχούν στις μέγιστες τιμές (πλάτος) της τάσης που παράγει η γεννήτρια και της έντασης του ρεύματος,  $f$  η συχνότητα της τάσης και της έντασης και  $T$  η περίοδος της. Στην Ευρώπη η συχνότητα του δικτύου παροχής ηλεκτρικής ενέργειας είναι συνήθως  $f = 50 \text{ Hz}$ . Αυτό σημαίνει ότι σε κάθε δευτερόλεπτο αλλάζει η πολικότητα της τάσης 50 φορές. Κατά συνέπεια σε κάθε δευτερόλεπτο αλλάζει 50 φορές η κατεύθυνση της κίνησης των ηλεκτρικών φορέων.



Η μέση τιμή της έντασης του ρεύματος σε χρόνο μιας περιόδου είναι ίση με μηδέν. Δηλαδή, το ρεύμα έχει στον ίδιο χρόνο την ίδια ένταση τόσο προς τη θετική κατεύθυνση όσο και προς την αρνητική κατεύθυνση. Η κατεύθυνση του ρεύματος όμως δεν επηρεάζει τη συμπεριφορά ενός ωμικού αντιστάτη σε ένα κύκλωμα αφού οι κρούσεις μεταξύ των ηλεκτρικών φορέων (ελεύθερα ηλεκτρόνια) με τα άτομα του υλικού του αντιστάτη είναι ανεξάρτητες από την κατεύθυνση του ρεύματος. Εξαρτώνται μόνο από το μέτρο της έντασης του ρεύματος.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται ανά μονάδα χρόνου, σε οποιαδήποτε συσκευή, ισούται με το γινόμενο της έντασης του ρεύματος  $I$ , που διαρρέει τη συσκευή, επί τη διαφορά δυναμικού  $\Delta V$  στα άκρα της συσκευής.

$$P = I\Delta V$$

Η σχέση αυτή ισχύει γενικά για οποιαδήποτε συσκευή. Για μία συσκευή αντίστασης  $R$  (π.χ. ένα θερμαντικό σώμα, ή έναν λαμπτήρα πυρακτώσεως), η ηλεκτρική ισχύς γράφεται και ως:

$$P = I\Delta V = I(IR) = I^2 R$$



Στις πιο πάνω σχέσεις χρησιμοποιείται η **στιγμιαία** ένταση ρεύματος και η **στιγμιαία** διαφορά δυναμικού, και υπολογίζεται η **στιγμιαία** ισχύς.

Όταν το ρεύμα είναι εναλλασσόμενο, η ένταση του ρεύματος και η διαφορά δυναμικού αλλάζουν συνεχώς με τον χρόνο. Συνεπώς, και η ηλεκτρική ισχύς που αποδίδεται στη συσκευή εξαρτάται από τον χρόνο. Γι' αυτό τον λόγο, για να περιγράψουμε την κατανάλωση μίας συσκευής, χρησιμοποιούμε τη **μέση ηλεκτρική ισχύ**, που αποδίδεται στη συσκευή κατά τη διάρκεια μίας περιόδου  $T$ .

Εάν στη διάρκεια μίας περιόδου  $T$  αποδίδεται στη συσκευή συνολική ηλεκτρική ενέργεια  $\Delta E$ , η **μέση ηλεκτρική ισχύς** κατά τη διάρκεια μίας περιόδου  $T$ , ισούται με:

$$P_{\mu} = \frac{\Delta E}{T}$$

Αποδεικνύεται ότι η μέση ισχύς ισούται με:

$$P_{\mu} = \frac{I_0 \Delta V_0}{2}$$

όπου  $I_0$  και  $\Delta V_0$  είναι οι μέγιστες τιμές της έντασης του εναλλασσόμενου ρεύματος και της εναλλασσόμενης διαφοράς δυναμικού.

Εάν ορίσουμε ως **ενεργό διαφορά δυναμικού** το μέγεθος

$$\Delta V_{\epsilon v} = \frac{\Delta V_0}{\sqrt{2}}$$

και ως **ενεργό ένταση ρεύματος** το μέγεθος

$$I_{\epsilon v} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$$

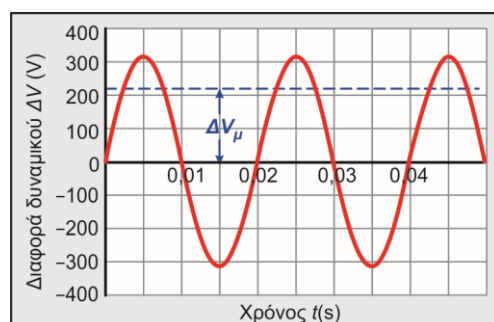
η μέση ισχύς στη διάρκεια μίας περιόδου γράφεται ως:

$$P_{\mu} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} \frac{\Delta V_0}{\sqrt{2}} = I_{\epsilon v} \Delta V_{\epsilon v}$$

Το διάγραμμα στην Εικόνα 1-33, απεικονίζεται η μεταβολή της διαφοράς δυναμικού με τον χρόνο, για την περίπτωση μεταβαλλόμενης διαφοράς δυναμικού με πλάτος  $\Delta V_0 = 310 \text{ V}$  και συχνότητας  $f = 50 \text{ Hz}$  (περίοδος,  $T = \frac{1}{f} \Rightarrow f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,02} = 50 \text{ Hz}$ ).

Η ενεργός (ή μέση) διαφορά δυναμικού είναι

$$\Delta V_{\epsilon v} = \frac{\Delta V_0}{\sqrt{2}} = 220 \text{ V}.$$



**Εικόνα 1- 31:** Διάγραμμα Διαφοράς δυναμικού σε σχέση με το χρόνο

Στην περίπτωση που η συσκευή είναι ένα θερμαντικό σώμα αντίστασης, η μέση ισχύς κατά τη διάρκεια μίας περιόδου εκφράζεται ως:

$$P_{\epsilon v} = \frac{I_0^2 R}{2} = I_{\epsilon v}^2 R$$

## Μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας

Πολλές φορές ακούμε για καλώδια υψηλής τάσης 11 000 V ή 66000 V ή 132 000V και για καλώδια τάσης 240 V. Ακούμε επίσης για υποσταθμούς διανομής και μετασχηματιστές. Με τι σχετίζονται όλες αυτές οι πληροφορίες;

Μια ηλεκτρογεννήτρια σε ένα σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας παρέχει μια σταθερή ισχύ  $P$  που δίνεται από τη σχέση

$$P = I \cdot \Delta V \quad (1)$$

Αυτή η ισχύς θα πρέπει να μεταφερθεί στους «καταναλωτές» με τη χρήση γραμμών μεταφοράς - καλωδίων. Ένα μέρος αυτής της ισχύος θα μετατραπεί σε εσωτερική ενέργεια στα καλώδια μεταφοράς και κατά συνέπεια να έχουμε απώλεια ενέργειας ως θερμότητα προς το περιβάλλον. Από τι εξαρτάται όμως αυτό το ποσοστό;

Όπως είδαμε στην προηγούμενη ενότητα, αν η αντίσταση των καλωδίων είναι  $R_K$  και τα καλώδια διαρρέονται από ρεύμα ενεργού έντασης  $I_{\epsilon V}$ , ο μέσος ρυθμός με τον οποίο η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε εσωτερική ενέργεια του καλωδίου δίνεται από τη σχέση

$$\bar{P} = I_{\epsilon V}^2 \cdot R \quad (2)$$

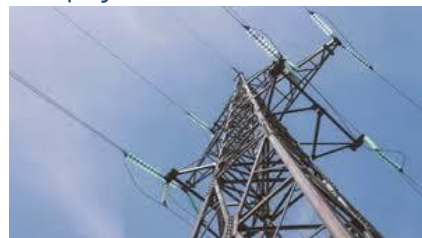
Αν ανυψώσουμε την τάση μεταξύ των γραμμών μεταφοράς, τότε σύμφωνα με την εξίσωση (1) η ένταση του ρεύματος μειώνεται ( $I = \frac{P}{\Delta V}$ ), αφού η ισχύς της ηλεκτρογεννήτριας είναι σταθερή.

Ως αποτέλεσμα, ο μέσος ρυθμός με τον οποίο η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε εσωτερική ενέργεια στα καλώδια, σύμφωνα με την εξίσωση (2), θα μειωθεί. Συνεπώς, το ποσοστό της ισχύος που μετατρέπεται σε μη χρήσιμες μορφές ενέργειας στις γραμμές μεταφοράς μειώνεται.

Η τάση στις κύριες γραμμές μεταφοράς της ΑΗΚ είναι 132000 V. Στα εναλλασσόμενα ρεύματα αυτό επιτυγχάνεται με ειδικές συσκευές που ονομάζονται **μετασχηματιστές**. Η υψηλή αυτή τάση είναι πολύ επικίνδυνη για οικιακή ή βιομηχανική χρήση. Γι' αυτό έξω από κάθε πόλη υπάρχουν υποσταθμοί της ΑΗΚ με μετασχηματιστές όπου η τάση υποβιβάζεται στα 11000 V. Επιπλέον, σε κάθε συνοικία υπάρχουν άλλοι μικρότεροι υποσταθμοί όπου η τάση υποβιβάζεται περαιτέρω στα 240 V, και διανέμεται στα σπίτια.



Εικόνα 1- 32: Ηλεκτροπαραγωγικός σταθμός



Εικόνα 1- 33: Γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

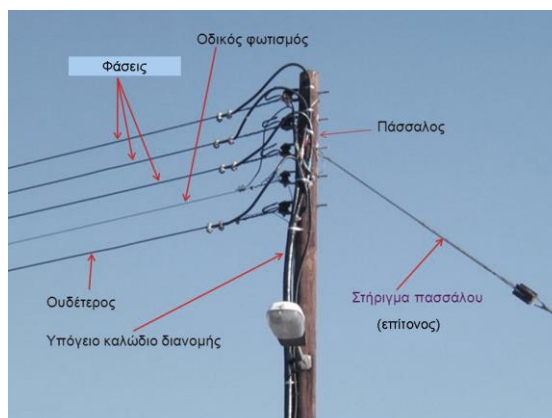


Εικόνα 1- 34: Μετασχηματιστές

## Διανομή ηλεκτρικής ενέργειας

Το ηλεκτρικό δίκτυο διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας αποτελείται συνήθως από 5 γραμμές, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1-37.

Ο λεπτότερος από τους αγωγούς που βρίσκεται πρώτος σε σειρά ξεκινώντας από κάτω προς τα πάνω, λέγεται ουδέτερος και συμβολίζεται με το γράμμα N. Ο δεύτερος σε σειρά αγωγός από κάτω προς τα πάνω χρησιμοποιείται για τον οδικό φωτισμό μόνο και συμβολίζεται με S/L. Οι άλλοι τρεις αγωγοί λέγονται φάσεις και συμβολίζονται με  $L_1$ ,  $L_2$  και  $L_3$ . Θα έχετε ίσως παρατηρήσει ότι στο σπίτι μας καταλήγει ένα καλώδιο από τον ουδέτερο και ένα από τις τρεις φάσεις. Σε αυτή την περίπτωση στο σπίτι μας έχουμε τάση 240 V.



**Εικόνα 1- 35:** Ηλεκτρικό δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

## Εσωτερική ηλεκτρική εγκατάσταση οικίας

Το δίκτυο των αγωγών που μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια στις διάφορες οικιακές ηλεκτρικές συσκευές, ονομάζεται εσωτερική οικιακή ηλεκτρική εγκατάσταση.

Σίγουρα θα έχετε προσέξει σε κάποιο από τους εσωτερικούς τοίχους του σπιτιού σας τον πίνακα διανομής, Εικόνα 1-38, ο οποίος περιλαμβάνει τις ασφάλειες που προστατεύουν τα διάφορα επί μέρους κυκλώματα του σπιτιού.

Από τον πίνακα διανομής αρχίζουν

- Το κύκλωμα φωτισμού
- Το κύκλωμα των ρευματοδοτών (δακτυλίου)
- Το κύκλωμα του ηλεκτρικού θερμοσίφωνα
- Το κύκλωμα της ηλεκτρικής κουζίνας.



Εικόνα 1- 36: Πίνακας διανομής οικίας

Κάθε κύκλωμα ελέγχεται από μια ασφάλεια. Πολλές φορές μπορεί να παρατηρήσουμε τη λειτουργία των λαμπτήρων φωτισμού στο σπίτι ενώ οι ηλεκτρικές συσκευές που συνδέονται στους ρευματοδότες να μην λειτουργούν. Σε αυτή την περίπτωση πρέπει να δούμε αν κάποια ασφάλεια στον πίνακα διανομής έχει διακόψει την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στο κύκλωμα των ρευματοδοτών. Αν ναι, θα πρέπει πριν θέσουμε την ασφάλεια στη θέση λειτουργίας, να ελέγξουμε ποιες ηλεκτρικές συσκευές είναι συνδεδεμένες στο συγκεκριμένο κύκλωμα. Ίσως κάποια από αυτές να έχει κάποια βλάβη.

## Γείωση

Στις ετικέτες των ηλεκτρικών συσκευών συμπεριλαμβάνεται και ένα από τα σύμβολα της Εικόνας 1-39. Ποια είναι η σημασία αυτού του συμβόλου; Τα σύμβολα της Εικόνας 1-39 δίνουν την πληροφορία ότι η ηλεκτρική συσκευή είναι **γειωμένη**.



Εικόνα 1- 37: Σύμβολα γείωσης ηλεκτρικής συσκευής

Σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση είναι δυνατό να παρουσιαστεί διαρροή ηλεκτρικού ρεύματος από τον αγωγό της φάσης προς το μεταλλικό μέρος μιας συσκευής, π.χ. λόγω χαλαρής σύνδεσης των καλωδίων, φθοράς της μόνωσης των αγωγών ή παρουσία υγρασίας.

Όταν ο αγωγός της φάσης έρθει σε επαφή με το μεταλλικό περίβλημα μιας συσκευής, το περίβλημα αποκτά τάση 240 V. Στην περίπτωση που κάποιος αγγίξει το μεταλλικό περίβλημα της συσκευής, κλείνει ένα κύκλωμα μεταξύ του περιβλήματος και του σώματός του προς τη γη που έχει τάση μηδέν. Το σώμα του ανθρώπου αρχίζει να διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα και ο άνθρωπος παθαίνει ηλεκτροπληξία.

Η ηλεκτροπληξία μπορεί να αποφευχθεί αν στο μεταλλικό περίβλημα της συσκευής είναι συνδεδεμένο ένα καλώδιο που ονομάζεται **γείωση**. Το περίβλημα αυτού του αγωγού έχει πράσινες και κίτρινες λωρίδες και βρίσκεται στο καλώδιο που συνδέει τη συσκευή με τον ρευματοδότη μαζί με το καλώδιο της φάσης και του ουδέτερου.

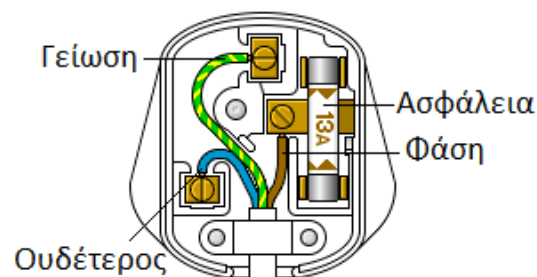
Σε κάθε ρευματολήπτη υπάρχει σύνδεση με το καλώδιο της γείωσης που καταλήγει τελικά σε μια μεταλλική πλάκα που είναι θαμμένη μέσα στη Γη.

Η γείωση έχει πολύ μικρή αντίσταση και έχει ίδια τάση με αυτή της Γης, όπως και ο άνθρωπος. Συνεπώς, με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η ροή ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από τον άνθρωπο και αποφεύγεται η ηλεκτροπληξία.

## Ορθή συρμάτωση ρευματοληπτών

Οι πλείστες ηλεκτρικές συσκευές που χρησιμοποιούμε στο σπίτι μας συνδέονται με ρευματολήπτες με τρεις ακροδέκτες. Με ποιο τρόπο όμως πρέπει να γίνει η σύνδεση των τριών αγωγών που υπάρχουν στο καλώδιο της συσκευής με τον ρευματολήπτη ώστε να τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα;

Η φάση L (καφέ ή κόκκινο καλώδιο), συνδέεται πάντα με τον δεξί ακροδέκτη, αυτόν που βρίσκεται σε σειρά με την ασφάλεια τήξης. Ο ουδέτερος (μπλε ή μαύρο καλώδιο) συνδέεται με τον αριστερό ακροδέκτη και η γείωση (πρασινοκίτρινο καλώδιο) με τον κεντρικό ακροδέκτη. Είναι σημαντικό η σύνδεση να γίνεται μόνο με αυτόν τον τρόπο. Η λανθασμένη συρμάτωση μιας συσκευής μπορεί να έχει μοιραίες συνέπειες για τον χρήστη της συσκευής.



Εικόνα 1- 38: Συρμάτωση ρευματολήπτη

## Οδηγίες για ορθή συρμάτωση των ρευματοληπτών

Στη Εικόνα 1-41, μπορείτε να δείτε το εσωτερικό ενός ρευματολήπτη με τρεις ακροδέκτες.



Εικόνα 1- 39: Εσωτερικό ρευματολήπτη

Για να προχωρήσετε στη συρμάτωση θα χρειαστείτε τα εξής εργαλεία:

- Ένα κόπτη
- Μια μικρή πένσα
- Ένα μικρό κατσαβίδι.



Εικόνα 1- 40: Εργαλεία

Να αφαιρέσετε 5 cm από το εξωτερικό περίβλημα του καλωδίου, από την άκρη του καλωδίου. Η διαδικασία θα πρέπει να γίνει με προσοχή ώστε να μην καταστραφεί το μονωτικό περίβλημα των καλωδίων στο εσωτερικό.



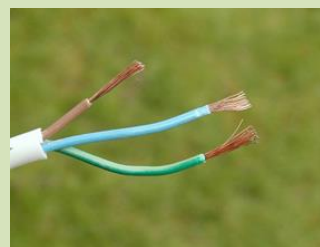
**Εικόνα 1- 41:** Αφαίρεση εξωτερικού περιβλήματος καλωδίου

Κόψτε το καλώδιο της φάσης στο σημείο που φαίνεται στην Εικόνα 1-44.



**Εικόνα 1- 42:** Τα καλώδια αποκόπτονται στο σωστό μέγεθος

Αφαιρέστε περίπου 1 cm από το περίβλημα των καλωδίων.



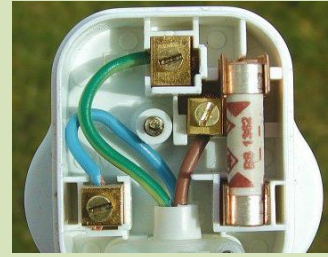
**Εικόνα 1- 43:** Αφαίρεση περιβλήματος καλωδίων

Στρίψτε τις άκρες των απογυμνωμένων καλωδίων και διπλώστε τις.



**Εικόνα 1- 44:** Ετοιμασία των άκρων των καλωδίων

Τοποθετήστε την άκρη του κάθε καλωδίου στον κατάλληλο ακροδέκτη, σύμφωνα με τις οδηγίες για την ορθή συρμάτωση ρευματοληπτών, και βιδώστε τις βίδες.



**Εικόνα 1- 45:** Τοποθέτηση των καλωδίων στη σωστή θέση

## Επιλογή της κατάλληλης ασφάλειας ρευματολήπτη

Η ασφάλεια που τοποθετείται σε ένα ρευματολήπτη μιας ηλεκτρικής συσκευής δεν επιλέγεται τυχαία. Πρέπει να αντέχει στη μέγιστη ένταση του ρεύματος που διαρρέει τη συσκευή όταν αυτή λειτουργεί κανονικά και να τήκεται όταν η ένταση του ρεύματος υπερβεί μια ορισμένη τιμή.

Η μέγιστη ένταση του ρεύματος που διαρρέει μια ηλεκτρική συσκευή αναγράφεται συνήθως πάνω στη συσκευή. Σε περιπτώσεις που δεν αναγράφεται μπορούμε να την υπολογίσουμε από τις τιμές της τάσης λειτουργίας  $\Delta V$  και της ισχύος  $P$  της συσκευής ως εξής:

Έστω ότι σε ένα ηλεκτρικό βραστήρα αναγράφονται οι τιμές τάσης και ισχύος 240 V και 2400 W, αντίστοιχα.

Από τη σχέση  $P = I \cdot \Delta V$ , μπορούμε να υπολογίσουμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που είναι ίση με:

$$I = \frac{P}{\Delta V} = 10 \text{ A}$$

Στα καταστήματα ηλεκτρικών ειδών δεν υπάρχουν ασφάλειες με οποιαδήποτε τιμή. Συνήθως υπάρχουν ασφάλειες 0,1 A, 0,5 A, 1 A, 3 A, 10 A, 13 A.

Συνεπώς στο ρευματολήπτη του βραστήρα θα πρέπει να τοποθετήσουμε ασφάλεια με την αμέσως μεγαλύτερη τιμή από αυτή των 10 A.



## Άσκηση

Στον Πίνακα 1-10 αναγράφονται πληροφορίες για την ηλεκτρική ισχύ και την τάση διαφόρων οικιακών συσκευών.

A. Να υπολογίσετε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει την κάθε συσκευή.

B. Να προσδιορίσετε την τιμή της ασφάλειας που πρέπει να τοποθετηθεί στο ρευματολήπτη της κάθε συσκευής.

Πίνακας 1- 10

Συσκευή	Τάση (V)	Ισχύς (W)
Ηλεκτρική θερμάστρα	240	2000
Ηλεκτρονικός υπολογιστής	240	150
Σίδερο	240	700
Ανεμιστήρας	240	200
Κλιματιστικό	240	1500

## ΕΝΘΕΤΟ: Ηλεκτροπληξία

Το ανθρώπινο σώμα είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού, και υφίσταται ηλεκτροπληξία όταν διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα από μέσα του.

Πίνακας 1- 11

Για να διαρρέεται το σώμα από ηλεκτρικό ρεύμα, πρέπει να υπάρχει διαφορά δυναμικού ανάμεσα σε δύο σημεία του σώματος. Το μεγαλύτερο μέρος του ρεύματος διέρχεται από τη διαδρομή μικρότερης αντίστασης.

Η ηλεκτροπληξία μπορεί να προκαλέσει υπερθέρμανση των ιστών του σώματος και διαταραχή της φυσιολογικής λειτουργίας του νευρικού συστήματος και των μυών. Επιπτώσεις του ηλεκτρικού ρεύματος αναγράφονται στον Πίνακα 1-11 (Πηγή: **Paul Hewitt, Conceptual Physics**).

Επιπτώσεις του ηλεκτρικού ρεύματος στο ανθρώπινο σώμα.	
Ένταση Ρεύματος	Επίπτωση
0,001 A	Γίνεται αισθητό
0,005 A	Πόνος
0,010 A	Μυϊκοί σπασμοί
0,015 A	Απώλεια ελέγχου μυών
0,070 A	Καρδιακή προσβολή

Η ένταση του ρεύματος, που διαρρέει το ανθρώπινο σώμα, εξαρτάται από τη διαφορά δυναμικού και την ηλεκτρική αντίσταση του σώματος. Η αντίσταση του **στεγνού δέρματος** είναι της τάξης των  $10^5 \Omega$ . Εάν αγγίξουμε τους πόλους μίας μπαταρίας με διαφορά

δυναμικού 9 V, προκαλείται στο σώμα μας ροή ρεύματος έντασης 0,00009 A. Η τιμή αυτή είναι πολύ μικρή, και το ρεύμα δεν είναι επικίνδυνο για το σώμα μας. Εάν στο σώμα μας εφαρμοσθεί διαφορά δυναμικού 240 V, ίση με την διαφορά δυναμικού στην καλωδίωση των κατοικιών, η ένταση του ρεύματος γίνεται ~24 φορές μεγαλύτερη (0,00022 A).

Το **βρεγμένο δέρμα** έχει σημαντικά μικρότερη αντίσταση, η οποία επιτρέπει να διέρχεται ρεύμα μεγαλύτερης έντασης και αυξάνει τον κίνδυνο ηλεκτροπληξίας. Εάν το σώμα είναι ιδρωμένο ή υγρό, ή σε επαφή με μία υγρή επιφάνεια, ο κίνδυνος θανατηφόρας ηλεκτροπληξίας μεγαλώνει σημαντικά. **Όταν κάνουμε μπάνιο, δεν πρέπει σε καμιά απολύτως περίπτωση να χρησιμοποιούμε ηλεκτρικές συσκευές.**

Όταν κάποιος πάθει ηλεκτροπληξία, **δεν** τον αγγίζουμε. Διακόπτουμε την παροχή ρεύματος. Στη συνέχεια, ενδεχομένως θα χρειασθεί να του παρασχεθεί καρδιοαναπνευστική ανάνηψη και ιατρική βοήθεια.

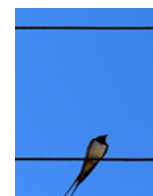
Οι περισσότεροι ρευματοδότες (πρίζες) έχουν τρεις υποδοχές. Η μια υποδοχή συνδέεται με το καλώδιο της φάσης (το καλώδιο από όπου διέρχεται το ρεύμα), η δεύτερη υποδοχή με ένα ουδέτερο καλώδιο. Η τρίτη υποδοχή (γείωση) συνδέεται με ένα σύρμα, το οποίο είναι σε επαφή με το έδαφος («προσγειωμένο»).



**Εικόνα 1- 46:**  
Ρευματοδότης

Εάν το μεταλλικό περίβλημα μίας συσκευής έρθει σε επαφή με το σύρμα της φάσης, και η πρίζα δεν έχει γείωση, το περίβλημα αποκτά το ίδιο δυναμικό με τη φάση. Εάν αγγίξουμε μία τέτοια συσκευή, διατρέχουμε τον κίνδυνο ηλεκτροπληξίας. Εάν η συσκευή είναι γειωμένη μέσω του τρίτου ακροδέκτη, το κάλυμμα θα έχει συνεχώς το δυναμικό της Γης, όπως και το σώμα του ανθρώπου. Έτσι, ο κίνδυνος ηλεκτροπληξίας αποσοβείται.

Τα πουλιά μπορούν να κάθονται σε καλώδια υψηλής τάσης (διαφοράς δυναμικού) χωρίς να διατρέχουν κίνδυνο. Ένα καλώδιο υψηλής τάσης έχει **μικρή αντίσταση** ανά μονάδα μήκους, και διαρρέεται από ρεύμα χαμηλής έντασης  $I$ .



Εάν ένα πουλί αγγίζει με τα πόδια του δύο σημεία **στο ίδιο** καλώδιο, η διαφορά δυναμικού ανάμεσα στα πόδια του είναι πολύ μικρή: Εάν η αντίσταση του καλωδίου ανάμεσα στα σημεία είναι  $R$ , η διαφορά δυναμικού ανάμεσα στα πόδια του πουλιού είναι  $\Delta V = IR \cong 0$ .

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΚΥΜΑΤΑ

Έχετε αναλογιστεί ποτέ όταν ακούτε ραδιόφωνο ή όταν βρίσκεστε σε μια συναυλία, πώς φθάνουν σε σας οι φωνές και η μουσική του αγαπημένου σας συγκροτήματος; Οι περισσότερες πληροφορίες για τον κόσμο που μας περιβάλλει μας έρχονται με κάποια μορφή κυμάτων. Οι ήχοι φθάνουν στα αυτιά μας μέσω κυμάτων, όπως και το φως στα μάτια μας και τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα στα ραδιόφωνα και τις τηλεοράσεις μας.

Το πιο οικείο παράδειγμα που ίσως έρχεται στο μυαλό μας όταν ακούμε τη λέξη κύματα είναι τα κύματα στο νερό. Αν ρίξουμε μια πέτρα σε μια λίμνη (αρχική διαταραχή), θα παρατηρήσουμε ότι δημιουργείται μια κυκλική διαταραχή στην επιφάνεια του νερού η οποία κινείται προς όλες τις κατευθύνσεις μακριά από το σημείο που έπεσε η πέτρα.



Εικόνα 2- 1: Κύματα στο νερό

Αν χτυπήσουμε τα κύμβαλα μιας ορχήστρας, αυτά θέτουν σε παλινδρομική κίνηση τα γειτονικά μόρια αέρα. Στον αέρα δημιουργούνται διαδοχικές περιοχές υψηλής και χαμηλής πίεσης, που διαδίδονται προς κάθε κατεύθυνση. Η αλληλεπίδραση αυτών των περιοχών με την τυμπανική μας μεμβράνη δημιουργεί το αίσθημα του ήχου.



<https://www.youtube.com/watch?v=W4s2UwKm7dc>

Εικόνα 2- 2: Κύμβαλα ορχήστρας

Στα πιο πάνω παραδείγματα μία **διαταραχή** όπως η κίνηση των σημείων ενός υλικού μέσου, η αυξομείωση της πίεσης του αέρα, διαδίδεται σε διαφορετικά σημεία ενός υλικού μέσου ή του χώρου. Ένα **κύμα** είναι μια διαταραχή που διαδίδεται από σημείο σε σημείο σε ένα υλικό μέσο, όπως τα παραδείγματα που αναφέραμε πιο πάνω.

### Σχετικό βίντεο:

<https://www.shutterstock.com/video/clip-11819090-stock-footage-stone-falls-into-water-the-thrown-stone-plops-and-produces-waves-and-rings-on-calm-and-smooth.html?src=rel/19189429:0/3p>

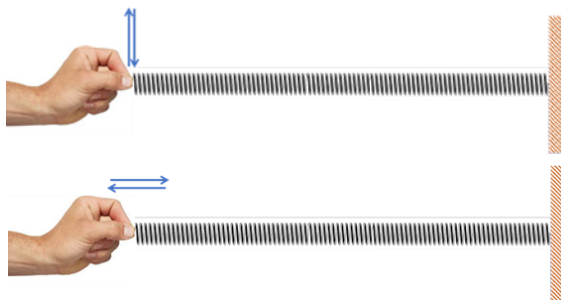
## Δημιουργία και διάδοση Παλμού σε μέσο

### Δραστηριότητα 2- 1: Δημιουργία και κίνηση παλμού σε ελαστικό μέσο

#### Υλικά:

- Ελατήριο slinky

**A.** Να προσαρμόσετε τη μια άκρη του ελατηρίου σε ένα σταθερό σημείο. Να τραβήξετε την άλλη άκρη του ελατηρίου ώστε το ελατήριο να τεντώσει. Κινείστε το χέρι σας κάθετα προς τη διεύθυνση του ελατηρίου προς τη μια κατεύθυνση και ξανά πίσω στην αρχική θέση ή παράλληλα με τη διεύθυνση του ελατηρίου προς τα μπροστά και ξανά πίσω στην αρχική θέση. Τι παρατηρείτε;



**Εικόνα 2- 3:** Δημιουργία και κίνηση παλμού σε ελαστικό μέσο

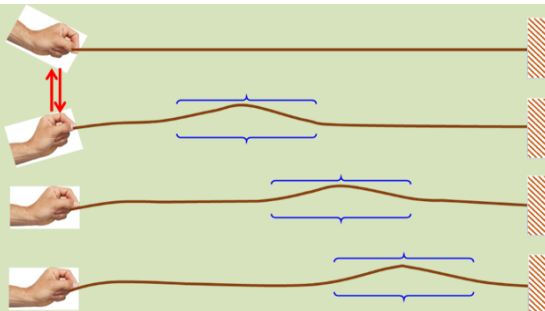
Αυτό που μόλις είδατε να διαδίδεται στο ελατήριο ονομάζεται **παλμός**.

**B.** Να συγκρίνετε τον παλμό που μόλις έχετε δημιουργήσει στο ελατήριο με τον υδάτινο παλμό που είδατε να δημιουργείται και να διαδίδεται στο φιλμάκι.

Κάθε σημείο του ελατηρίου παραμένει ακίνητο μέχρι να φτάσει σε αυτό ο παλμός. Κατόπιν κινείται για κάποιο χρονικό διάστημα και στη συνέχεια παραμένει και πάλι ακίνητο.

Μπορείτε να μελετήσετε την κίνηση ενός παλμού σε ένα μέσο, μέσω της προσομοίωσης:

[http://www.joeruff.com/artruff/physics/honors/0506/06-04-06\\_Waves2/03\\_stringpulse.html](http://www.joeruff.com/artruff/physics/honors/0506/06-04-06_Waves2/03_stringpulse.html)



Καθώς ο παλμός διαδίδεται κατά μήκος του ελατηρίου, τα υλικά σημεία μιας νέας περιοχής του ελατηρίου μετατοπίζονται από τις θέσεις ισορροπίας τους, στις οποίες επιστρέφουν μετά τη διέλευση του παλμού.

## Δραστηριότητα 2- 2: Ταχύτητα διάδοσης παλμού σε μέσο

### Υλικά:

- Ελατήριο slinky
- Χαρτότελλα
- Χρονόμετρο
- Μετροταινία

Να περιγράψετε τον τρόπο που θα εργαστείτε για να προσδιορίσετε την ταχύτητα διάδοσης του παλμού στο ελατήριο και να την μετρήσετε.

---

---

---

---

## Δραστηριότητα 2- 3: Μεταφορά ύλης ή ενέργειας;

Δύο μαθητές συζητούν αναφορικά με την κίνηση ενός παλμού σε ένα ελαστικό μέσο. Πιο κάτω δίνεται ένα απόσπασμα της δήλωσης του ενός από τους μαθητές.

**Μαθητής:** «Αν ρίξω μια πέτρα σε μια λίμνη με νερό δημιουργείται ένας παλμός. Κατά την κίνηση του παλμού μεταφέρεται νερό από το σημείο που πέφτει η πέτρα προς τα έξω.»

Να γράψετε κατά πόσον συμφωνείτε ή διαφωνείτε με τη δήλωση του μαθητή.

---

### Πείραμα

**A.** Να κολλήσετε σε τρεις διαφορετικές σπείρες του ελατηρίου slinky ένα κομμάτι χαρτότελλας. Να δημιουργήσετε ένα παλμό στο ελατήριο και να περιγράψετε την κίνηση των κομματιών χαρτότελλας.

---

---

**B.** Σύμφωνα με την κίνηση της χαρτότελλας στο πιο πάνω πείραμα, να εξηγήσετε αν κατά τη διάδοση του παλμού στο ελατήριο μεταφέρεται:

i. Ύλη από ένα σημείο σε κάποιο άλλο.

---

---

ii. Ενέργεια

---

---

**Γ.** Στο βίντεο που ακολουθεί ένα πλαστικό αντικείμενο επιπλέει στην επιφάνεια του νερού μιας λίμνης. Σε κάποια απόσταση από το αντικείμενο πέφτει μια πέτρα στο

νερό και δημιουργείται ένας παλμός ο οποίος απομακρύνεται από το σημείο που έπεσε η πέτρα.

<https://www.shutterstock.com/video/clip-10338869-stock-footage-water-ripple.html?src=rel/11819090:9>

Να μελετήσετε την κίνηση του πλαστικού αντικειμένου και να εξηγήσετε γιατί δεν μεταφέρεται νερό προς τα έξω με τη διάδοση του παλμού.

---

---

---

---

**Δ.** Το πλαστικό αντικείμενο στην αρχή ήταν ακίνητο ενώ όταν διαδόθηκε ο παλμός στο σημείο που βρίσκεται το αντικείμενο αυτό άρχισε να κινείται. Τι μπορείτε να συμπεράνετε όσον αφορά τη μεταφορά ενέργειας από τον παλμό;

---

---

## Τρέχον Κύμα

Στην προηγούμενη ενότητα έχουμε συζητήσει την έννοια του παλμού και έχουμε δει ότι ένας παλμός είναι μια διαταραχή που διαδίδεται μέσα σε ένα υλικό μέσο. Ένα **κύμα** είναι μια περιοδική και συνεχής διαταραχή που αποτελείται από συνεχή σειρά παλμών. Κύμα, δηλαδή, είναι η διάδοση μιας διαταραχής που μεταφέρει ενέργεια με σταθερή ταχύτητα, χωρίς όμως να μεταφέρει ύλη. Για την πρόκληση μιας κυματικής διαταραχής απαιτείται προσφορά ενέργειας σε κάποια περιοχή του μέσου, από μια πηγή, και το μέσο διάδοσης.

## Είδη Κυμάτων

Τα κύματα τα οποία χρειάζονται υλικό μέσο για να διαδοθούν ονομάζονται **μηχανικά κύματα**. Παραδείγματα μηχανικών κυμάτων είναι τα κύματα στην επιφάνεια νερού, τα κύματα σε ελατήριο ή χορδή, τα ηχητικά κύματα. Έχουμε όμως και κύματα που δεν απαιτείται υλικό μέσο διάδοσης και μπορούν να διαδίδονται και στο κενό. Αυτά τα κύματα ονομάζονται **ηλεκτρομαγνητικά**. Η διάδοση ενεργείας στα μηχανικά κύματα γίνεται μέσω των στοιχειωδών τμημάτων του μέσου, τα οποία αλληλεπιδρούν με τα γειτονικά τους. Τα στοιχειώδη τμήματα του μέσου εκτελούν διαδοχικά την ίδια κίνηση με αυτή της πηγής, χωρίς να μεταφέρονται σε άλλες περιοχές του χώρου. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι διάδοση στο χώρο ενός ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου. Το ορατό φως, τα ραδιοκύματα, οι ακτίνες X και οι ακτίνες γ αποτελούν παραδείγματα ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων τα οποία στο κενό διαδίδονται με ταχύτητα ίση με την ταχύτητα του φωτός  $c = 3 \times 10^8$  m/s.

## Εγκάρσια και διαμήκη κύματα

### Εγκάρσιο κύμα

Μέχρι τώρα έχουμε δημιουργήσει εγκάρσιους παλμούς με ένα χοντρό σχοινί ή με το ελατήριο slinky. Αν τώρα αρχίσουμε να μετακινούμε το άκρο του ελατηρίου με το χέρι μας εκτελώντας μια παλινδρομική κίνηση κάθετα στη διεύθυνση του ελατηρίου, τότε θα δημιουργηθεί ένας συρμός (σειρά) από παλμούς. Ο συρμός από παλμούς ονομάζεται **κύμα**. Όταν τα στοιχειώδη τμήματα του μέσου κινούνται κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος, τότε το κύμα ονομάζεται **εγκάρσιο κύμα**. Εγκάρσια κύματα παρατηρούνται στις χορδές, σε ελατήρια, σε σχοινιά και σε άλλα στερεά. Εγκάρσια κύματα είναι επίσης τα ηλεκτρομαγνητικά.



Εικόνα 2- 4: Δημιουργία εγκάρσιου κύματος σε ελατήριο

### Διάμηκες κύμα

Στερεώνουμε το ένα άκρο του ελατηρίου slinky σε ένα ακλόνητο σημείο. Τεντώνουμε το ελατήριο και αρχίζουμε να μετακινούμε το άλλο άκρο του παράλληλα με τη διεύθυνση του ελατηρίου. Σε αυτή την περίπτωση, η διεύθυνση κίνησης των στοιχειωδών τμημάτων του μέσου, είναι παράλληλη με τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Τέτοια κύματα ονομάζονται **διαμήκη κύματα**. Παράδειγμα διαμήκους κύματος είναι τα ηχητικά κύματα.



Εικόνα 2- 5: Δημιουργία διαμήκους κύματος σε ελατήριο

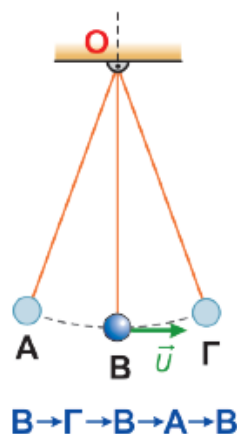
**Δραστηριότητα 2- 4:** Κίνηση στοιχειωδών τμημάτων του μέσου κατά τη διάδοση ενός κύματος σε αυτό

**A.** Να τρέξετε την προσομοίωση για ένα εγκάρσιο και ένα διάμηκες κύμα και να εστιάσετε την προσοχή σας σε ένα στοιχειώδες τμήμα του μέσου. Να μελετήσετε και να περιγράψετε την κίνηση του τμήματος καθώς διαδίδεται το κύμα στο μέσο.

[https://www.seilias.gr/index.php?option=com\\_content&task=view&id=87&Itemid=32](https://www.seilias.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=87&Itemid=32)

**B.** Στην περίπτωση διάδοσης ενός κύματος σε ένα μέσο, τα στοιχειώδη τμήματα του μέσου εκτελούν ταλαντώσεις. Να τρέξετε την προσομοίωση <http://ophysics.com/waves1.html> και να περιγράψετε την κίνηση του κάθε στοιχειώδους τμήματος του μέσου στην περίπτωση του εγκάρσιου και του διαμήκους κύματος.

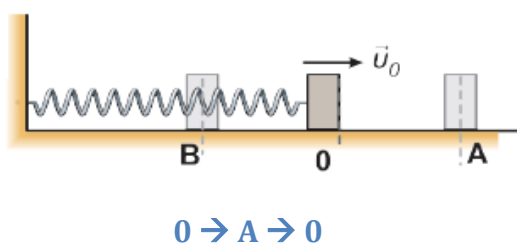
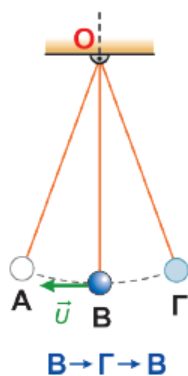
Το κάθε στοιχειώδες τμήμα του μέσου εκτελεί μια απλή αρμονική ταλάντωση. Δηλαδή μια κίνηση η οποία επαναλαμβάνεται μετά από κάποιο χρονικό διάστημα. Μια πλήρης ταλάντωση ολοκληρώνεται κάθε φορά που ένα στοιχειώδες τμήμα διέρχεται από το ίδιο σημείο με την ίδια ταχύτητα. Το χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο επαναλαμβάνεται η κίνηση ονομάζεται **Περίοδος T**. Για παράδειγμα, το σώμα στην Εικόνα 2-6 (απλό εκκρεμές) κάνει έναν πλήρη κύκλο ταλάντωσης ξεκινώντας από το σημείο Β με ταχύτητα προς τα δεξιά και επανέρχεται στο ίδιο σημείο έχοντας την ίδια ταχύτητα.



**Εικόνα 2- 6:** Η κίνηση ενός απλού εκκρεμούς είναι απλή αρμονική ταλάντωση

### Άσκηση

Να εξετάσετε κατά πόσον οι διαδρομές που εκτελούν τα σώματα στις πιο κάτω περιπτώσεις, αποτελούν έναν πλήρη κύκλο ταλάντωσης.



Ο αριθμός των πλήρων ταλαντώσεων ανά μονάδα του χρόνου ονομάζεται **συχνότητα f**. Η συχνότητα (f) συνδέεται με την περίοδο (T) με τη σχέση:

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

Να τρέξετε ξανά την προσομοίωση <http://ophysics.com/waves1.html>. Κάθε στοιχειώδες τμήμα του μέσου εκτελεί απλή αρμονική ταλάντωση με συχνότητα και περίοδο ίδια με τη συχνότητα και την περίοδο της ταλάντωσης της πηγής του κύματος.



## Δραστηριότητα 2- 5: Προσδιορισμός της περιόδου ενός σώματος που κάνει απλή αρμονική ταλάντωση

### Απλό εκκρεμές

#### Υλικά:

Νήμα, σφαίρες διαφόρων μαζών, χρονόμετρο, ορθοστάτης, μοιρογνωμόνιο

Η διάταξη Εικόνας 2-7 ονομάζεται απλό εκκρεμές.

i. Να προσδιορίσετε την περίοδο της ταλάντωσης της σφαίρας του εκκρεμούς χρησιμοποιώντας τα διαθέσιμα όργανα.

---

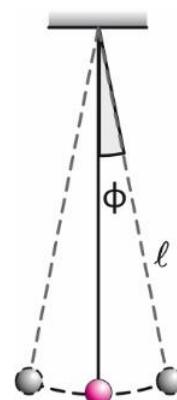
---

---

---

ii. Να υπολογίσετε τη συχνότητα της ταλάντωσης

---



Εικόνα 2- 7:  
Απλό εκκρεμές

## Δραστηριότητα 2- 6: Χαρακτηριστικά εγκάρσιου και διαμήκους τρέχοντος αρμονικού κύματος

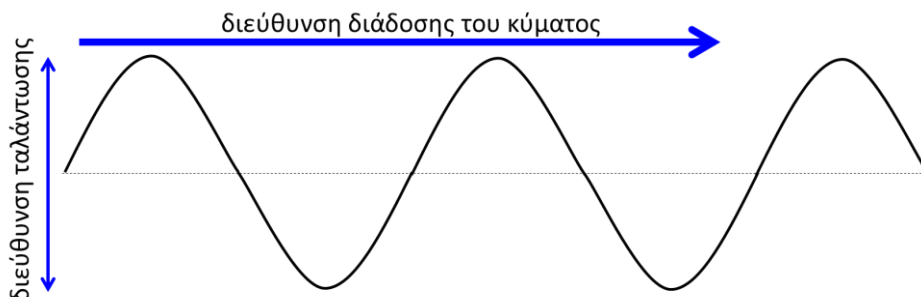
### A. Εγκάρσιο κύμα

Να δημιουργήσετε ένα εγκάρσιο κύμα χρησιμοποιώντας το ελατήριο slinky. Το χέρι σας αποτελεί την πηγή των κυμάτων. Πώς πρέπει να κινείτε το χέρι σας για να δημιουργηθεί το εγκάρσιο κύμα;

---

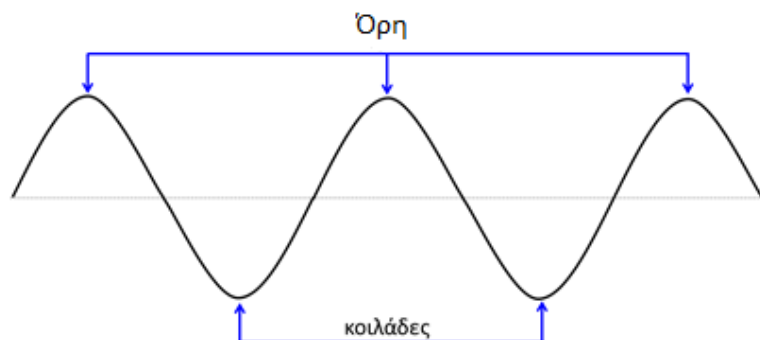
---

Το μέσο είναι το ελατήριο slinky, το οποίο προφανώς αποτελείται από έναν πολύ μεγάλο αριθμό στοιχειωδών τμημάτων. Το κύμα ταξιδεύει από αριστερά προς τα δεξιά, αλλά τα στοιχειώδη τμήματα του ελατηρίου κινούνται μόνο πάνω και κάτω.



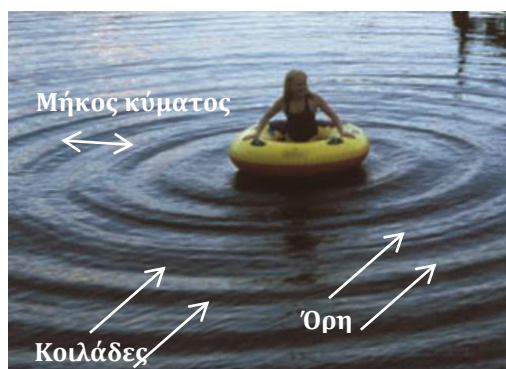
Όταν η διεύθυνση ταλάντωσης των στοιχειωδών τμημάτων ενός μέσου, είναι κάθετη στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος, το κύμα ονομάζεται **εγκάρσιο**.

Τα εγκάρσια κύματα αποτελούνται από κινούμενα όρη και κοιλάδες. **Όρος** ονομάζουμε το υψηλότερο σημείο που ανεβαίνει το μέσο και **κοιλάδα** το χαμηλότερο σημείο που βυθίζεται το μέσο. Τα όρη και κοιλάδες σε ένα εγκάρσιο κύμα φαίνονται στην Εικόνα 2-8.



**Εικόνα 2- 8:** Όρη και κοιλάδες σε ένα εγκάρσιο κύμα

Στην περίπτωση που ρίχνουμε μια πέτρα σε μια ήρεμη επιφάνεια μιας λίμνης, δημιουργείται ένα κύμα στην επιφάνεια του νερού, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2-9. Οι περιοχές όπου το νερό ανεβαίνει το μέγιστο πάνω από τη θέση ισορροπίας ονομάζονται όρη και οι περιοχές όπου το νερό βρίσκεται στο μέγιστο κάτω από τη θέση ισορροπίας ονομάζονται κοιλάδες.



**Εικόνα 2- 9:** Σχηματισμός ορέων και κοιλάδων στην επιφάνεια του νερού μιας λίμνης.

### **B. Διάμηκες κύμα**

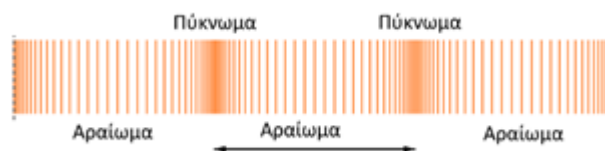
Για να δημιουργήσουμε **διάμηκες κύμα** με το ελατήριο slinky. Στερεώνουμε την μία άκρη του ελατηρίου σε ακλόνητο σημείο. Θέτουμε σε συνεχή ταλάντωση το ελεύθερο άκρο του ελατηρίου κατά τη διεύθυνση του ελατηρίου, οπότε δημιουργείται ένας συρμός από παλμούς.



**Εικόνα 2- 10:** Σχηματισμός διαμήκους κύματος σε ελατήριο

Τι παρατηρείτε σε σχέση με τη διεύθυνση ταλάντωσης των στοιχειωδών τμημάτων του μέσου, σε σχέση με τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος;

Κάποιες περιοχές του ελατηρίου συμπιέζονται, δηλαδή δημιουργούνται σε αυτές **πυκνώματα**. Μεταξύ δύο διαδοχικών πυκνωμάτων υπάρχει μία περιοχή η οποία ονομάζεται **αραιώμα**. Τα πυκνώματα και τα αραιώματα κινούνται κατά τη διεύθυνση του ελατηρίου.

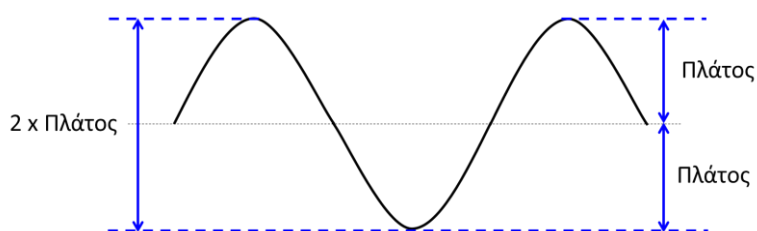


**Εικόνα 2- 11:** Δημιουργία πυκνωμάτων και αραιωμάτων σε ελατήριο κατά τη διάδοση ενός διαμήκους κύματος

## Χαρακτηριστικά μεγέθη κύματος

### Πλάτος κύματος

Το πλάτος του κύματος είναι η μέγιστη μετατόπιση ενός στοιχειώδους τμήματος του μέσου από τη θέση ισορροπίας του. Η απόσταση μεταξύ της κορυφής του όρους και της θέση ισορροπίας ονομάζεται πλάτος του κύματος. Το πλάτος του κύματος συμβολίζεται με το γράμμα  $y_0$ .



Εικόνα 2- 12: Χαρακτηριστικά μεγέθη κύματος

### Περίοδος, συχνότητα και μήκος κύματος

Ένα αρμονικό κύμα παράγεται όταν η πηγή εκτελεί απλές αρμονικές ταλαντώσεις με περίοδο  $T$ . Επειδή κάθε στοιχειώδες τμήμα του μέσου διάδοσης του κύματος εκτελεί όμοια ταλάντωση με αυτή της πηγής, η **περίοδος του κύματος** είναι ο χρόνος που χρειάζεται ένα στοιχειώδες τμήμα του μέσου για να εκτελέσει μία πλήρη ταλάντωση.

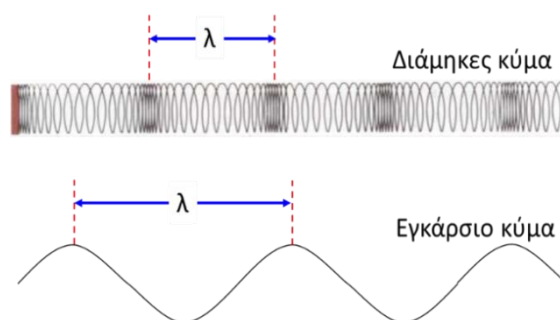
Ο αριθμός των πλήρων ταλαντώσεων στην μονάδα του χρόνου που εκτελούν τα στοιχειώδη τμήματα του μέσου, μέσα στο οποίο διαδίδεται το κύμα, ονομάζεται **συχνότητα του κύματος**. Η συχνότητα ( $f$ ) όπως και στις ταλαντώσεις συνδέεται με την περίοδο ( $T$ ) με τη σχέση:

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

### Μήκος κύματος

Σε χρόνο μιας περιόδου από τη στιγμή που τίθεται σε ταλάντωση η πηγή, το κύμα θα διαδοθεί σε ορισμένη απόσταση από την πηγή. Η απόσταση αυτή ονομάζεται **μήκος κύματος** και συμβολίζεται με το γράμμα  $\lambda$ .

Στα εγκάρσια κύματα το μήκος κύματος είναι η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών ορέων ή δύο διαδοχικών κοιλάδων, ενώ στα διαμήκη το μήκος κύματος αντιστοιχεί στην απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών πυκνωμάτων ή αραιωμάτων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2-13.



Εικόνα 2- 13: Μήκος κύματος σε διάμηκες και εγκάρσιο κύμα

### Ταχύτητα διάδοσης κύματος

Ταχύτητα διάδοσης του κύματος ( $v$ ) είναι η ταχύτητα με την οποία διαδίδεται η διαταραχή. Αν  $v$  είναι η ταχύτητα διάδοσης του κύματος θα έχουμε:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}, \text{ όταν } \Delta x = \lambda \text{ τότε } \Delta t = T$$

$$v = \frac{\lambda}{T} \text{ και επειδή } f = \frac{1}{T} \text{ τότε}$$

$$v = \lambda f$$

Η εξίσωση αυτή αποτελεί τη σχέση ανάμεσα στην ταχύτητα διάδοσης ( $v$ ) και στο μήκος κύματος ( $\lambda$ ). Η ταχύτητα διάδοσης ενός κύματος εξαρτάται από τις ιδιότητες του μέσου διάδοσης και είναι ανεξάρτητη από τη συχνότητα του κύματος. Σε συγκεκριμένο μέσο διάδοσης με τις ίδιες ιδιότητες, όλα τα κύματα έχουν την ίδια ταχύτητα.

### Ασκήσεις

1. Να γράψετε τις διαφορές των εγκάρσιων και των διαμηκών κυμάτων.
2. Ένα κύμα διαδίδεται σε μια χορδή μεγάλου μήκους με ταχύτητα 0,5 m/s. Αν το μήκος κύματός του είναι 25 cm, να υπολογίσετε τη συχνότητα και την περίοδο του κύματος.
3. Ένας άνθρωπος που βρίσκεται μέσα σε μια βάρκα στη θάλασσα, παρατηρεί ότι αφού περάσει από μπροστά του μια κορυφή κύματος, οι επόμενες 30 κορυφές περνούν σε χρόνο 4 λεπτών. Να υπολογίσετε τη συχνότητα του κύματος.
4. Ένα δελφίνι για να βρει το δρόμο του, εκπέμπει ένα ηχητικό κύμα με μήκος κύματος 2,9 cm. Η ταχύτητα με την οποία διαδίδεται το κύμα στο θαλάσσιο νερό είναι 1450 m/s. Να υπολογίσετε την περίοδο του κύματος.
5. Ένα διάμηκες κύμα με συχνότητα 8 Hz, χρειάζεται 1 s για να διανύσει ένα ελατήριο μήκους 2 m. Να υπολογίσετε το μήκος κύματος του κύματος.
6. Τα κύματα της θάλασσας που δημιουργούνται από το πέρασμα ενός θαλάσσιου σκάφους διαδίδονται με ταχύτητα 2 m/s. Να υπολογίσετε το μήκος κύματος αυτών των κυμάτων, αν προξενούν σε μια κοντινή σημαδούρα ένα ανεβοκατέβασμα κάθε 4 s.

## Κυματικά φαινόμενα

### Δραστηριότητα 2- 7: Ανάκλαση υδάτινων κυμάτων

**Υλικά:** Αλουμινένιο ταψί διαστάσεων 20 cm x 30 cm ή συσκευή παραγωγής υδάτινων κυμάτων (Ripple tank)

Να ρίξετε στο αλουμινένιο ταψί μισό λίτρο νερό. Να σπρώξετε προς τα μπροστά τη μικρή πλευρά του ταψιού κατά 0,5 cm. Να περιγράψετε την κίνηση του νερού στο ταψί.

---

---

---

**Σημ:** Παρόμοιο φαινόμενο παρατηρείται στη συσκευή παραγωγής υδάτινων κυμάτων.

### Δραστηριότητα 2- 8: Ανάκλαση του φωτός

**Υλικά:** Ηλεκτρικός φακός (φανάρι), επίπεδο κάτοπτρο, χάρτινος σωλήνας μήκους 5 cm και ίσης διαμέτρου με το φακό.

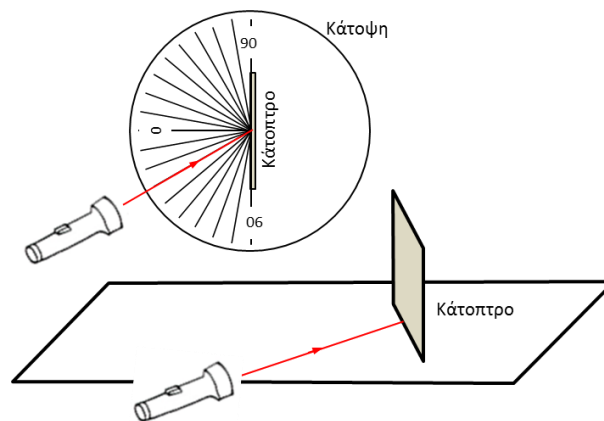
Στο μπροστινό μέρος ενός ηλεκτρικού φακού να κολλήσετε τον χάρτινο σωλήνα.

**A.** Να στερεώσετε στο θρανίο σας μια κόλλα, στην οποία είναι τυπωμένος ένας γωνιομετρικός κύκλος. Να ανάψετε το ηλεκτρικό φακό και να τον στρέψετε προς μια συγκεκριμένη γωνία, π.χ.  $30^\circ$ . Να χαράξετε την πορεία του φωτός στην κόλλα.

**B.** Να τοποθετήσετε ένα επίπεδο κάτοπτρο στην πορεία διάδοσης του φωτός, όπως δείχνει η Εικόνα 2-14. Τι παρατηρείτε;

---

---



**Γ.** Να χαράξετε πάνω στην κόλλα την πορεία του φωτός μετά την ανάκλαση του στο κάτοπτρο.

**Εικόνα 2- 14:** Ανάκλαση φωτός

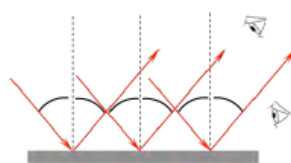
**Δ.** Να σημειώσετε στην κόλλα που έχετε μπροστά σας που πρέπει να βρίσκεται ένας παρατηρητής για να δει στο κάτοπτρο το είδωλο του ηλεκτρικού φακού.

Κατά την ανάκλαση του φωτός, το φως «αναπηδά» στον καθρέφτη και γυρίζει πίσω. Τα κύματα της θάλασσας που κτυπάνε σε μια προκυμαία ξαναγυρίζουν προς τα πίσω. Ο ήχος που κτυπά στην πλαγιά ενός βουνού επιστρέφει πίσω ως ηχώ. Τα πιο πάνω φαινόμενα αναφέρονται την **ανάκλαση** ενός κύματος σε μια επιφάνεια. Δηλαδή, στην ανάκλαση η ενέργεια που μεταφέρεται από το κύμα αλλάζει κατεύθυνση διάδοσης, όταν κτυπάει σε μια επιφάνεια.

### Διάχυση του φωτός

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της Δραστηριότητας 2-8, το ανακλώμενο φως σε ένα επίπεδο κάτοπτρο είναι ορατό μόνο αν ο παρατηρητής τοποθετήσει τα μάτια του προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. (Οι ακτίνες απεικονίζουν τα φωτεινά κύματα.)

Το ανακλώμενο φως είναι ορατό μόνο κατά τη διεύθυνση της ανάκλασης



Το ανακλώμενο φως δεν είναι ορατό από αυτή τη διεύθυνση

Εικόνα 2- 15: Διάχυση του φωτός

### Δραστηριότητα 2- 9α: Διάχυση του φωτός

Να επαναλάβετε τη διαδικασία που ακολουθήσατε στη Δραστηριότητα 2-8 αλλά αντί για επίπεδο κάτοπτρο να τοποθετήσετε ένα τσαλακωμένο φύλλο από αλουμινόχαρτο (τραχιά/ ανώμαλη) ανακλαστική επιφάνεια. Ποια διαφορά εντοπίζετε σε σχέση με την ανάκλαση του φωτός σε επίπεδο κάτοπτρο;

---



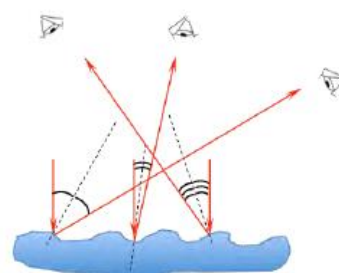
---



---

Όταν το φως προσπίπτει σε μια ανώμαλη (τραχιά) ανακλαστική επιφάνεια, το ανακλώμενο φως διασκορπίζεται/ διαχέεται προς κάθε κατεύθυνση. (Οι ακτίνες απεικονίζουν τα φωτεινά κύματα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2-16).

Το ανακλώμενο φως είναι ορατό από παντού

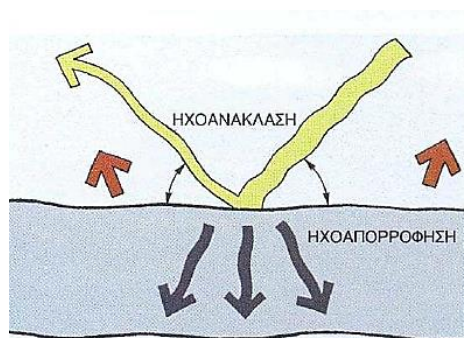


Εικόνα 2- 16: Διάχυση του φωτός

## Απορρόφηση

Είναι το φαινόμενο κατά το οποίο τα υλικά απορροφούν την ενέργεια που μεταφέρει ένα κύμα και την μετατρέπουν σε άλλη μορφή ενέργειας, συνήθως εσωτερική ενέργεια του υλικού.

Στην περίπτωση της απορρόφησης ενός ηχητικού κύματος, το ποσοστό απορρόφησης του κύματος, εξαρτάται από το υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένη η επιφάνεια και από τη συχνότητα του κύματος.



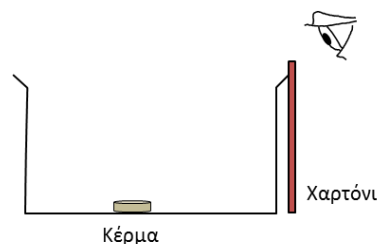
Εικόνα 2- 17: Ανάκλαση και απορρόφηση κύματος

## Διάθλαση

### Δραστηριότητα 2- 9β

#### A. Φαινομενική ανύψωση αντικειμένου

- Να τοποθετήσετε ένα κέρμα στη βάση ενός δοχείου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2-18.
- Να τοποθετήσετε ένα χαρτόνι μπροστά στην μια πλευρά του δοχείου, και να σταθείτε σε θέση που ίσα που **να μην** βλέπετε το κέρμα.
- Μένοντας ακίνητοι σε αυτή τη θέση, αρχίστε να ρίχνετε λίγο - λίγο νερό στο ποτήρι μέχρι που να γεμίσει.



Εικόνα 2- 18: Φαινομενική ανύψωση αντικειμένου

Να γράψετε τι παρατηρείτε καθώς γεμίζει με νερό το ποτήρι.

---

---

#### B. Το «σπασμένο» καλαμάκι.

- Να βάλετε ένα καλαμάκι μέσα σε ένα ποτήρι.
- Κρατώντας το καλαμάκι ακίνητο, αρχίστε να ρίχνετε λίγο – λίγο νερό στο ποτήρι μέχρι που να γεμίσει.

Να παρατηρήσετε το καλαμάκι και να γράψετε πώς φαίνεται.

---

---

Τα φαινόμενα αυτά οφείλονται σε μια άλλη σημαντική ιδιότητα των κυμάτων, της **διάθλασης**. Η εντύπωση της απότομης κάμψης σωμάτων στη διαχωριστική επιφάνεια δύο μέσων διαφορετικής πυκνότητας που παρατηρήσατε πιο πάνω ή το γεγονός ότι κάποιες μέρες οι ήχοι ακούγονται καθαρά σε μακρινές αποστάσεις και κάποιες άλλες μέρες δεν ακούγονται καθόλου στις ίδιες αποστάσεις οφείλονται στη διάθλαση των

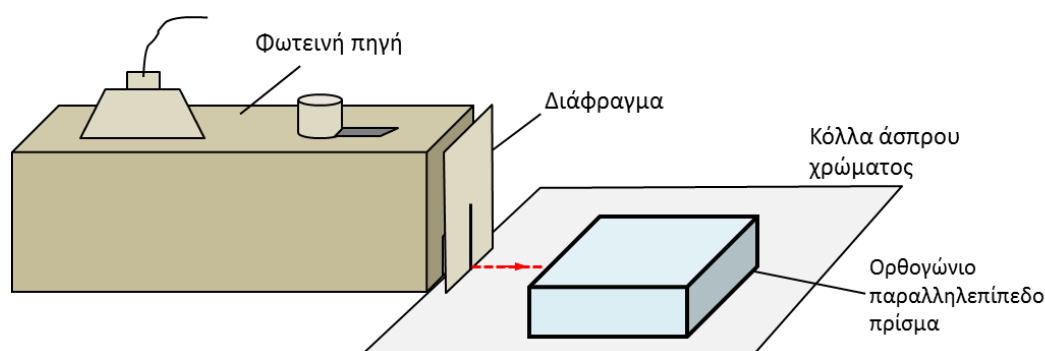


Εικόνα 2- 19: Το «σπασμένο» καλαμάκι είναι αποτέλεσμα της διάθλασης του φωτός

κυμάτων. Γενικά **διάθλαση των κυμάτων** ονομάζεται η αλλαγή της κατεύθυνσης τους όταν κατά την αλλαγή του μέσου στο οποίο διαδίδεται το κύμα.

### Δραστηριότητα 2- 10: Μελέτη της διάθλασης του φωτός

Να τοποθετήσετε τη φωτεινή πηγή με το διάφραγμα μιας σχισμής σε μια κόλλα άσπρου χρώματος. Στην πορεία της φωτεινής ακτίνας, να τοποθετήσετε το ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο πρίσμα όπως φαίνεται στην Εικόνα 2-20.



Εικόνα 2- 20: Μελέτη της διάθλασης του φωτός

**A.** Να τοποθετήσετε το ορθογώνιο πρίσμα με τρόπο που η φωτεινή ακτίνα να προσπίπτει κάθετα στην πλευρά του πρίσματος (η γωνία πρόσπτωσης να είναι μηδέν). Να χαράξετε την πορεία διάδοσης της φωτεινής ακτίνας στον αέρα και στο πρίσμα. Τι παρατηρείτε;

---

---

---

---

**Υπόδειξη:** Μπορείτε να χαράξετε την πορεία διάδοσης της φωτεινής ακτίνας μέσα στο ορθογώνιο πρίσμα, σημειώνοντας με ένα μυτερό μολύβι το σημείο πρόσπτωσης της φωτεινής στο πρίσμα και το σημείο από το οποίο εξέρχεται η φωτεινή ακτίνας από το πρίσμα. Μετακινώντας το πρίσμα, μπορείτε ενώνοντας με ευθεία γραμμή τα δύο αυτά σημεία, να χαράξετε την πορεία της φωτεινής ακτίνας μέσα στο πρίσμα.

**B.** Να στρέψετε τη φωτεινή πηγή έτσι ώστε η γωνία πρόσπτωσης της φωτεινής ακτίνας στην πλευρά του πρίσματος να είναι  $10^\circ$  (να χρησιμοποιήσετε ένα γωνιομετρικό κύκλο τυπωμένο σε χαρτί). Να χαράξετε την πορεία διάδοσης της φωτεινής ακτίνας πριν την είσοδο της στο πρίσμα, μέσα στο πρίσμα και μετά την έξοδο της στην απέναντι πλευρά του πρίσματος.

**Γ.** Να επαναλάβετε την πιο πάνω διαδικασία για διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης της φωτεινής ακτίνας στη γυάλινη πλάκα (π.χ.  $15^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $25^\circ$ ). Για κάθε γωνία πρόσπτωσης να χρησιμοποιήσετε διαφορετικό χρώμα μολυβιού.



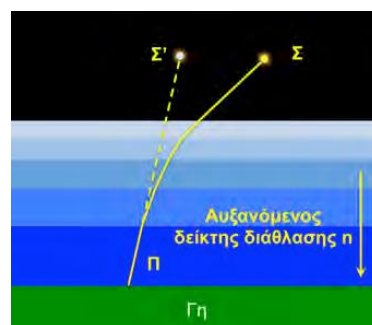
## Διάθλαση του Φωτός στην Ατμόσφαιρα

Η Γη περιβάλλεται από ένα στρώμα μίγματος αερίων, την ατμόσφαιρα. Το στρώμα αυτό αποτελεί ένα οπτικό μέσο, που επιτρέπει τη διέλευση του φωτός στο εσωτερικό του. Εξ' αιτίας της βαρύτητας, η πυκνότητα της ατμόσφαιρας ελαττώνεται καθώς αυξάνεται το ύψος.

Ο δείκτης διάθλασης του ατμοσφαιρικού αέρα εξαρτάται από την πυκνότητα του αέρα, και ελαττώνεται επίσης με το ύψος.

Οι φωτεινές ακτίνες που διασχίζουν την ατμόσφαιρα διέρχονται από διαδοχικά στρώματα αέρα με διαφορετική πυκνότητα. Μπορούμε να θεωρήσουμε τα στρώματα αυτά σαν διαδοχικά οπτικά μέσα, τα οποία προκαλούν συνεχώς διάθλαση των φωτεινών ακτίνων. Συνεπώς, όταν μια φωτεινή ακτίνα διασχίζει την ατμόσφαιρα, η διεύθυνση διάδοσης της ακτίνας αλλάζει συνεχώς.

Η Εικόνα 2-21 απεικονίζει σχηματικά τη διαδρομή μιας ακτίνας φωτός, που προέρχεται από ένα αστέρι  $\Sigma$  και φθάνει στο σημείο  $\Pi$  της επιφάνειας της Γης.



Εικόνα 2- 21: Διάθλαση του φωτός στην ατμόσφαιρα

Επειδή η πυκνότητα της ατμόσφαιρας αυξάνεται κοντά στην επιφάνεια της Γης, η γωνία διάθλασης της ακτίνας ελαττώνεται σταδιακά. Ένας παρατηρητής στο σημείο  $\Pi$  αντιλαμβάνεται ότι το αστέρι  $\Sigma$  βρίσκεται πάνω στην προέκταση  $\Pi\Sigma'$  της ακτίνας που εισέρχεται στα μάτια του. Συνεπώς, η φαινομενική θέση του αστεριού,  $\Sigma'$ , βρίσκεται πιο ψηλά από την πραγματική του θέση  $\Sigma$ , σε σχέση με τον ορίζοντα.

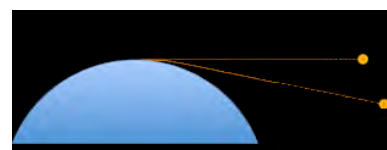
Η διάθλαση του φωτός, που προέρχεται από τον ήλιο, προκαλεί **παραμορφώσεις του ηλιακού δίσκου**. Όταν ο ήλιος βρίσκεται κοντά στον ορίζοντα, τα σημεία στο κάτω μέρος του ηλιακού δίσκου (πιο κοντά στον ορίζοντα) υφίστανται μεγαλύτερη φαινομενική ανύψωση από τα σημεία στο πάνω μέρος του δίσκου. Εξ αιτίας της διαφορετικής ανύψωσης, ο ηλιακός δίσκος φαίνεται ελαφρώς πεπλατυσμένος κοντά στον ορίζοντα.



Εικόνα 2- 22: Η παραμόρφωση του ηλιακού δίσκου οφείλεται στη διάθλαση του φωτός

Για τον ίδιο λόγο, το επάνω μέρος του ηλιακού δίσκου είναι ορατό για ένα μικρό διάστημα κατά την ανατολή και δύση του ηλίου, αν και ολόκληρος ο δίσκος βρίσκεται κάτω από τον ορίζοντα.

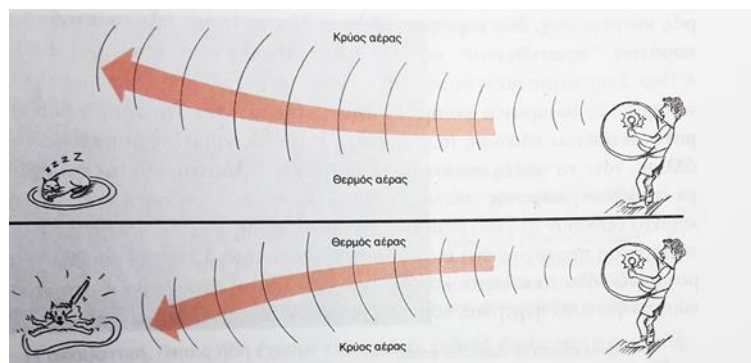
Η διάθλαση του φωτός είναι υπεύθυνη και για το γεγονός ότι τα αστέρια τρεμοσβήνουν (λαμπυρίζουν). Επειδή το μείγμα αερίων της ατμόσφαιρας βρίσκεται διαρκώς σε κίνηση, η ατμόσφαιρα δεν είναι ομογενές οπτικό μέσο: η χημική σύσταση, η πυκνότητα και η θερμοκρασία στα διάφορα σημεία αλλάζει συνεχώς με τον χρόνο, μεταβάλλοντας συνεχώς και το δείκτη διάθλασης της ατμόσφαιρας. Οι ακτίνες φωτός ενός αστεριού που φθάνουν στα μάτια μας σε



διαφορετικές χρονικές στιγμές ακολουθούν ελαφρώς διαφορετικά μονοπάτια, επειδή διέρχονται από ατμοσφαιρικά στρώματα με συνεχώς μεταβαλλόμενο δείκτη διάθλασης. Γι' αυτό τον λόγο, η ένταση και η διεύθυνση των φωτεινών ακτίνων που φθάνουν στα μάτια μας από ένα αστέρι μεταβάλλεται συνεχώς, προκαλώντας το λαμπύρισμα.

Αντίστοιχο λαμπύρισμα εμφανίζουν και τα φώτα μίας πόλης, όταν τα παρατηρούμε από αρκετά μεγάλη απόσταση.

Ομοίως, τα ηχητικά κύματα διαθλώνται όταν περνούν μέσα από στρώματα του αέρα διαφορετικής θερμοκρασίας όπως φαίνεται στην Εικόνα 2-23.



**Εικόνα 2- 23:** Διάθλαση ηχητικών κυμάτων

## Συμβολή

Οπουδήποτε και αν βρισκόμαστε σπάνια φτάνει σε μας ένα μόνο κύμα από μόνο μια πηγή. Συνήθως, φτάνουν σε μας ταυτόχρονα κύματα από διάφορες πηγές και αυτό που τελικά αντιλαμβανόμαστε είναι το αποτέλεσμα όλων αυτών των κυμάτων.

Τι συμβαίνει όταν κύματα από διαφορετικές πηγές συναντώνται; Όταν δύο ή περισσότερα κύματα που διαδίδονται σε ένα μέσο συναντηθούν, τότε τα κύματα αυτά συμβάλουν, δηλαδή προστίθενται και προκύπτει ένα σύνθετο κύμα. Η μορφή του κύματος εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο τα επιμέρους κύματα συναντούν το ένα το άλλο.

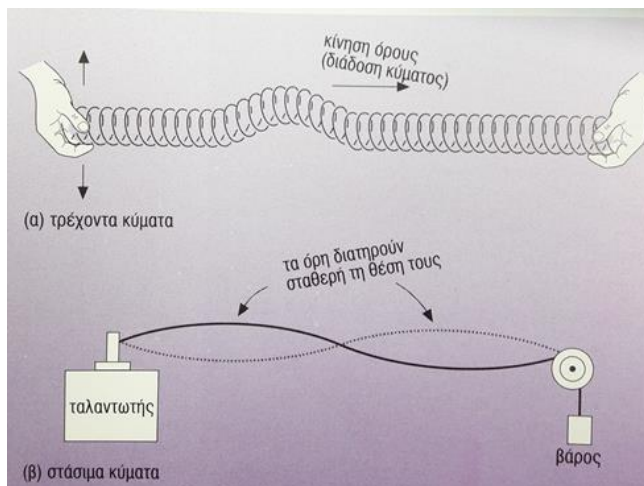
Η ακουστική μελετά ιδιαίτερα τη συμβολή σε μια κλειστή αίθουσα. Εξαιτίας των πολλαπλών ανακλάσεων στους τοίχους της αίθουσας, έχουμε φαινόμενα συμβολής. Δηλαδή, τα ανακλώμενα κύματα προστίθενται και εμφανίζονται σημεία στην αίθουσα όπου ο ήχος είναι έντονος και σημεία όπου ο ήχος είναι ανεπαίσθητος.



**Εικόνα 2- 24:** Εικόνα της συμβολής κυμάτων δύο σημειακών πηγών

## Στάσιμα κύματα

Ένα σημαντικό παράδειγμα υπέρθεσης κυμάτων σε μία διάσταση αποτελεί ο σχηματισμός **στάσιμων κυμάτων**. Στην περίπτωση ενός σωλήνα με αέρα, το κύμα μπορεί να ανακλαστεί από το ένα κλειστό άκρο του σωλήνα ενώ στην περίπτωση των χορδών, η ανάκλαση λαμβάνει χώρα στα σταθερά σημεία της χορδής. Το κύμα που ανακλάται ταξιδεύει αντίθετα προς το αρχικό κύμα. Η υπέρθεση (πρόσθεση) των δύο κυμάτων (του αρχικού και του ανακλώμενου) δημιουργεί ένα στάσιμο κύμα.



Εικόνα 2- 25: Δημιουργία στάσιμου κύματος

Οι συχνότητες του ήχου που παράγονται από στάσιμα κύματα σε μουσικά όργανα, εξαρτώνται από τις ιδιότητες του μέσου διάδοσης του κύματος. Στην περίπτωση της χορδής αυτές οι ιδιότητες είναι το μήκος, η τάση και η γραμμική πυκνότητα της χορδής (μάζα ανά μονάδα μήκους).

Για μία προσομοίωση της δημιουργίας στάσιμων κυμάτων, μπορείτε να επισκεφθείτε την ιστοσελίδα:

[http://www.seilias.gr/index.php?option=com\\_content&task=view&id=157&Itemid=32](http://www.seilias.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=157&Itemid=32).

### Μορφές ταλαντώσεων της χορδής

Η συχνότητα του ήχου που παράγεται από μια χορδή η οποία είναι στερεωμένη στα δύο της άκρα και ταλαντώνεται δίνεται από τη σχέση:

$$\text{συχνότητα} \propto \frac{1}{\text{μήκος}} \times \sqrt{\frac{\text{τάση}}{\text{μάζα ανά μονάδα μήκους}}}$$

ή με σύμβολα,

$$f \propto \frac{1}{l} \times \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Εκτός όμως από τους τρεις πιο πάνω παράγοντες που επηρεάζουν τη συχνότητα του παραγόμενου ήχου υπάρχει και ένας τέταρτος παράγοντας που αφορά τον τρόπο που ταλαντώνεται η χορδή.

Συγκεκριμένα, το μήκος των τρεχόντων κυμάτων, για τα οποία δημιουργείται στάσιμο κύμα, παίρνει **συγκεκριμένες τιμές**, που εξαρτώνται από το μήκος  $L$  της χορδής.

Ομοίως, η **συχνότητα** των τρεχόντων κυμάτων, για τα οποία δημιουργείται στάσιμο κύμα, παίρνει **συγκεκριμένες τιμές**, που εξαρτώνται από το μήκος της χορδής:

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{(2L/v)} = v \left( \frac{v}{2L} \right) = v f_{\text{ελαχ}}, \quad v = 1, 2, \dots$$

Η **ελάχιστη** συχνότητα  $f_{ελαχ} = \frac{v}{2L}$  ονομάζεται **θεμελιώδης**. Οι υπόλοιπες συχνότητες είναι ακέραια πολλαπλάσια της θεμελιώδους, και ονομάζονται δεύτερη αρμονική, τρίτη αρμονική κ.ο.κ. Όταν μία χορδή πάλλεται, θέτει σε κίνηση τα γειτονικά μόρια του αέρα και παράγει ηχητικά κύματα με συχνότητες, που δίνονται από την πιο πάνω σχέση.

Μερικές από τις τιμές μήκους κύματος και συχνότητας  $f$  των τρεχόντων κυμάτων, που δημιουργούν στάσιμο κύμα σε χορδή με ακίνητα άκρα στις θέσεις 0 και  $L$ , μαζί με τα αντίστοιχα στιγμιότυπα του κύματος, απεικονίζονται στον Πίνακα 2-1.

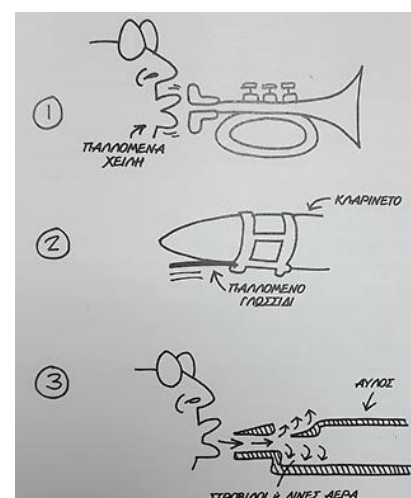
Πίνακας 2- 1

Μήκος Κύματος ( $\lambda$ )	Συχνότητα ( $f$ )	Στιγμιότυπο κύματος
$2L$ ● 2 Δεσμοί ● 1 Κοιλία	$f = f_{ελαχ}$ (Θεμελιώδης)	
$L$ ● 3 Δεσμοί ● 2 Κοιλίες	$f = 2f_{ελαχ}$ (2η αρμονική)	
$2L/3$ ● 4 Δεσμοί ● 3 Κοιλίες	$f = 3f_{ελαχ}$ (3η αρμονική)	

### Πνευστά όργανα

Στα πνευστά όργανα ο ήχος παράγεται με την ταλάντωση μιας στήλης αέρα που είναι παγιδευμένος μέσα στον σωλήνα του οργάνου. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για να θέσουμε τον παγιδευμένο αέρα σε ταλάντωση χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

1. Ταλάντωση των χειλιών που χρησιμοποιείται στις τρομπέτες και στα τρομπόνια.
2. Ταλάντωση ενός στερεωμένου γλωσσιδίου που χρησιμοποιείται για παράδειγμα στα σαξόφωνα, στα κλαρινέτα και στα φαγκότα.
3. Στρόβιλοι ή δίνες αέρα που προκαλούν ταλαντώσεις σε πνευστά όπως τις φλογέρες και τα φλάουτα.

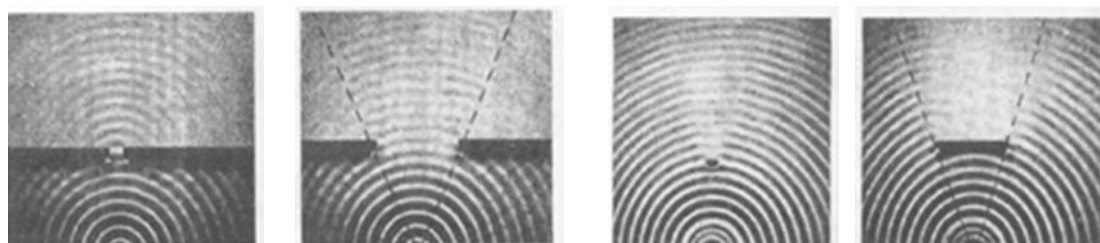


Εικόνα 2- 26: Παραγωγή ήχου στα πνευστά όργανα

## Περίθλαση

Είναι μία από τις περιπτώσεις στις οποίες όταν το φως διέρχεται μέσα από μία λεπτή σχισμή ή οπή εκτρέπεται από την ευθεία πορεία του. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **περίθλαση**. Όταν το φως περιθλάται δεν εμφανίζεται ένα απλό φωτεινό αποτύπωμα σε μία οθόνη τοποθετημένη πίσω από την σχισμή που αντιστοιχεί στην εικόνα της οπής ή της σχισμής (όπως συμβαίνει στην περίπτωση της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός) αλλά μία εικόνα που περιλαμβάνει φωτεινές και σκοτεινές περιοχές σε μία μεγάλη περιοχή γύρω από την θέση που θα έπρεπε να εμφανίζεται το φωτεινό αποτύπωμα.

Στις πιο κάτω φωτογραφίες παρατηρούμε τι συμβαίνει όταν ένα κύμα προσπίπτει σε μια μικρή οπή με διαστάσεις της ίδιας τάξης μεγέθους με το μήκος κύματος (Εικόνα 2-27 Α), μια μεγάλη οπή (Εικόνα 2-27 Β), ένα μικρό εμπόδιο (Εικόνα 2-27 Γ) και ένα μεγάλο εμπόδιο (Εικόνα 2-27 Δ).



Εικόνα Α

Εικόνα Β

Εικόνα Γ

Εικόνα Δ

**Εικόνα 2- 27:** Πρόσπτωση κύματος σε οπή ή εμπόδιο διαφόρων μεγεθών

Στην Εικόνα 2-27 Α παρατηρούμε ότι το κύμα μετά τη διέλευση του μέσα από τη μικρή οπή διαδίδεται και σε σημεία που θα αναμέναμε να υπάρχει «σκιά» (απουσία κύματος), όπως συμβαίνει στην Εικόνα 2-27 Β όπου το κύμα διέρχεται μέσα από μια μεγάλη οπή. Το ίδιο συμβαίνει όταν το κύμα προσπίπτει σε εμπόδια μικρών διαστάσεων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2-27 Γ. Σε αυτή την περίπτωση παρατηρούμε ότι το κύμα διαδίδεται και σε σημεία πίσω από το εμπόδιο που θα αναμέναμε να υπάρχει «σκιά», όπως συμβαίνει στην Εικόνα 2-27 Δ που το κύμα προσπίπτει σε ένα εμπόδιο μεγάλων διαστάσεων.

## Ηχητικά κύματα

### Δραστηριότητα 2- 11: Παραγωγή ήχου

- Να τοποθετήσετε ένα πλαστικό χάρακα πάνω στο θρανίο σας, ώστε ο μισός να προεξέχει. Να κρατήσετε σταθερά το μέρος του χάρακα που είναι πάνω στο θρανίο.
- Να τραβήξετε προς τα κάτω την ελεύθερη άκρη του χάρακα και να την αφήσετε ελεύθερη.



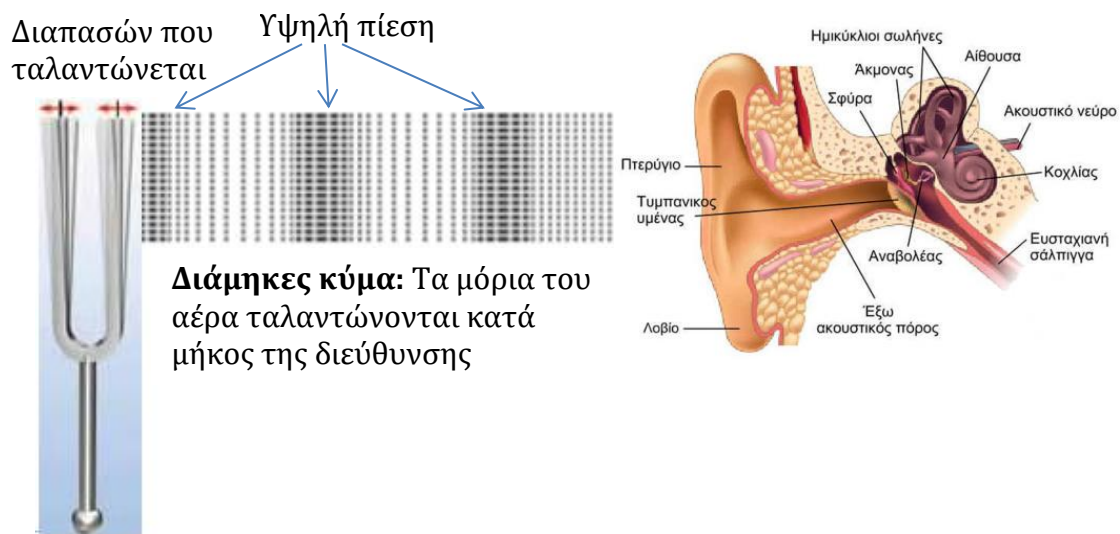
**Εικόνα 2- 28:** Παραγωγή ήχου

- Να περιγράψετε και να χαρακτηρίσετε την κίνηση που εκτελεί ο χάρακας. Παράγεται ήχος;
- Να αυξήσετε το μήκος του χάρακα που προεξέχει και να επαναλάβετε την ίδια διαδικασία.
- Ο ήχος που παράγεται τώρα από το χάρακα είναι ίδιος με τον προηγούμενο;

Όταν ένα σώμα ταλαντώνεται στον αέρα, αλληλεπιδρά με τα μόριά του αέρα και προκαλεί την κίνησή τους. Τα μόρια του αέρα πλησιάζουν ή απομακρύνονται μεταξύ τους, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται πυκνώματα και αραιώματα και η πίεση του αέρα να μεταβάλλεται περιοδικά γύρω από την κανονική ατμοσφαιρική πίεση.

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 μόρια 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**.

Η Εικόνα 2-29 δείχνει παραδείγματα δύο τύπων ταλαντώσεων. Το διαπασών δονείται και παράγει ήχο, ο οποίος ταξιδεύει διαμέσου του αέρα, ο οποίος με τη σειρά του δονεί το τύμπανο του αυτιού. Τα σκέλη του διαπασών ταλαντώνονται με μια σταθερή συχνότητα, όταν το κτυπήσουμε απαλά κάπου. Καθώς τα σκέλη ταλαντώνονται, μεταβάλλουν την πίεση του αέρα. Αυτές οι μεταβολές της πίεσης επηρεάζουν τον αέρα γύρω από το διαπασών και έτσι ένα κύμα (ήχος με ίδια συχνότητα με αυτήν του διαπασών) αρχίζει να διαδίδεται προς τα έξω. Τελικά, αυτές οι μεταβολές της πίεσης φτάνουν στο τύμπανο. Μια πίεση μικρότερη από την κανονική ατμοσφαιρική πίεση που βρίσκεται στο εξωτερικό μέρος του αυτιού αναγκάζει τον τυμπανικό υμένα (τύμπανο) να κινηθεί προς τα έξω, ενώ μια πίεση μεγαλύτερη από την κανονική ατμοσφαιρική πίεση στο εξωτερικό μέρος του αυτιού αναγκάζει το τύμπανο να κινηθεί προς τα μέσα. Έτσι το τύμπανο ταλαντώνεται τελικά με την ίδια συχνότητα, όπως αυτήν που δονείται το διαπασών. Το ακουστικό νεύρο ανιχνεύει αυτές τις δονήσεις και στέλλει ηλεκτρικό σήμα στον εγκέφαλο, που δίνει τελικά την αίσθηση της ακοής.



Εικόνα 2- 29

### Υπέρηχοι

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 κινούνται σε μια σπηλιά. Αυτά τα ηχητικά κύματα ανακλώμενα στα τοιχώματα της σπηλιάς βοηθούν τη νυχτερίδα να διαπιστώσει την ύπαρξη εμποδίων, τη θέση τους, και την απόστασή τους από αυτές. 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.



Εικόνα 2- 30: Εύρος συχνοτήτων ήχων που είναι ακουστοί από διάφορα ζώα

### Διάδοση ηχητικών κυμάτων

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 του τρένου.

## Δραστηριότητα 2- 12: Ο ήχος διαδίδεται στο κενό;

### Υλικά:

- Αντλία κενού
- Κινητό τηλέφωνο

Ο/Η εκπαιδευτικός έχει τοποθετήσει το κινητό του/της τηλέφωνο μέσα στον κώδωνα κενού, και στη συνέχεια αφαιρεί τον αέρα θέτοντας σε λειτουργία την αντλία κενού.



**A.** Τι προβλέπετε ότι θα συμβεί αν ο/η εκπαιδευτικός καλέσει το τηλέφωνο που είναι μέσα στον κώδωνα;

---

---

---

**B.** Τι συνέβη όταν ο/η εκπαιδευτικός κάλεσε το τηλέφωνο;

---

---

---

**Γ.** Ποιο είναι το συμπέρασμά σας για τη διάδοση του ήχου στο κενό;

---

---

**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. Στον Πίνακα 2-2 δίνεται η ταχύτητα διάδοσης του ήχου σε διάφορα υλικά σε θερμοκρασία 25 °C.

**Πίνακας 2- 2**

Κατάσταση	Υλικό	Ταχύτητα σε m/s
<b>Στερεά</b>	Αλουμίνιο	6420
	Ατσάλι	5960
	Ορείχαλκος	4700
<b>Υγρά</b>	Οπτικό γυαλί	3980
	Θαλασσινό νερό	1531
	Αποσταγμένο νερό	1498
<b>Αέρια</b>	Αιθανόλη	1207
	Υδρογόνο	1284
	Ήλιο	965
	Αέρας	346



## Χαρακτηριστικά του ήχου

Μπορείτε να αναγνωρίσετε πολλούς οικείους ήχους, χωρίς να βλέπετε τις πηγές που τους παράγουν. Πώς είναι δυνατόν; Αυτοί οι ήχοι πρέπει να έχουν κάτι το διαφορετικό για να είστε σε θέση να τους αναγνωρίσετε. Έχετε ποτέ σκεφτεί τι είναι αυτό που κάνει έναν ήχο διαφορετικό από κάποιον άλλο;

Κάθε ήχος έχει μια ιδιαιτερότητα, η οποία οφείλεται σε ένα σύνολο από γνωρίσματα. Κάποια από τα γνωρίσματα αυτά αντικατοπτρίζουν τις φυσικές ιδιότητες του ήχου και είναι ανεξάρτητα από την προσωπική αντίληψη του ακροατή. Τα γνωρίσματα αυτά ονομάζονται **αντικειμενικά χαρακτηριστικά** του ήχου. Τα κυριότερα από τα αντικειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου είναι η **συχνότητα** και η **ένταση**.

Υπάρχουν όμως ηχητικά γνωρίσματα τα οποία εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από την αντίληψη του ακροατή και ονομάζονται **υποκειμενικά χαρακτηριστικά** του ήχου.

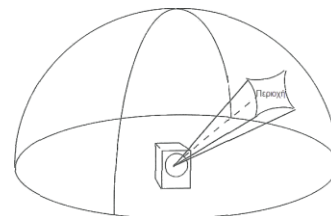
### Συχνότητα ήχου

Η συχνότητα του ήχου καθορίζεται από τη συχνότητα με την οποία πάλλεται η πηγή που παράγει τα ηχητικά κύματα. Η συχνότητα εκφράζει την ταχύτητα ταλάντωσης και μετράται σε κύκλους ανά δευτερόλεπτο (Hertz, Hz). Γρηγορότερες ταλαντώσεις επιφέρουν υψηλότερους - οξύτερους - ήχους, ενώ βραδύτερες ταλαντώσεις επιφέρουν χαμηλότερους - βαρύτερους - ήχους.

Μπορείτε να δημιουργήσετε ήχους διαφόρων συχνοτήτων με την εφαρμογή «rhyrbox» στο κινητό σας τηλέφωνο. Στην εφαρμογή αυτή μπορείτε επίσης να μετρήσετε την ένταση του ήχου ή να καθορίσετε τη συχνότητα ήχων.

### Ένταση ήχου

Η ένταση του ήχου ορίζεται ως το ποσό της ηχητικής ενέργειας που διέρχεται από μια επιφάνεια στη μονάδα του χρόνου. Η ένταση του ήχου εξαρτάται από τη δύναμη με την οποία αναγκάζουμε ένα σώμα να δονηθεί, π.χ. πόσο δυνατά κτυπάμε τη χορδή μιας κιθάρας ή την επιφάνεια ενός τυμπάνου. Αν τοποθετήσουμε έναν μετρητή έντασης ήχου σε κάποια μικρή απόσταση από τον τυμπανοκρούστη και αυτός χτυπήσει το τύμπανο πρώτα ελαφρά και κατόπιν δυνατά, θα παρατηρήσουμε ότι η τιμή της έντασης του ήχου στην πρώτη περίπτωση είναι μικρότερη απ' όση στη δεύτερη.



**Εικόνα 2- 31:** Ένταση σφαιρικού κύματος

### Κλίμακα έντασης του ήχου

Για τη μέτρηση της έντασης ενός ήχου χρησιμοποιείται η **κλίμακα ντεσιμπέλ** (decibel, dB) η οποία βασίζεται στις μεταβολές της πίεσης του αέρα. Τα μηδέν ντεσιμπέλ αντιστοιχούν σε ήχο που μόλις ακούγεται, ενώ ο ήχος 120 dB προκαλεί πόνο στα αφτιά. Μια αύξηση 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.

**Πίνακας 2- 3:** Ενδεικτικές τιμές έντασης του ήχου

Πηγή	Ένταση ήχου (dB)
Θρόισμα φύλλων	10
Ψιθύρισμα	20
Κανονική συζήτηση	60
Δρόμος πόλης με κίνηση	70
Ηλεκτρική σκούπα	80
Ροκ συναυλία	110
Απογείωση επιβατικού αεροπλάνου	120

### Υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου

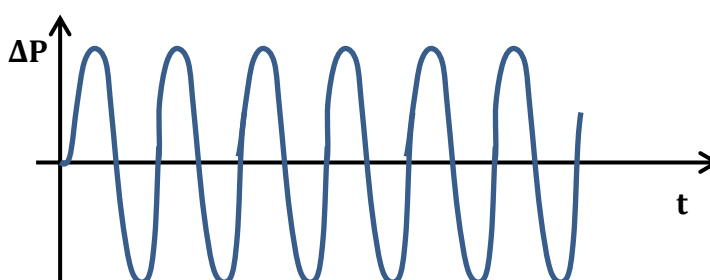
Η **ακουστότητα**, το **ύψος** και η **χροιά**, είναι γνωρίσματα του ήχου τα οποία κάθε ακροατής αντιλαμβάνεται με διαφορετικό τρόπο, επομένως κατατάσσονται στα υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου.

Η **ακουστότητα** έχει σχέση με το πώς ο κάθε ακροατής αντιλαμβάνεται την ένταση ενός ήχου. Προφανώς εξαρτάται από την ένταση του ήχου, εξαρτάται όμως και από την απόσταση του ακροατή από την ηχητική πηγή, καθώς επίσης και από την ευαισθησία των οργάνων ακοής του ακροατή.

Το **ύψος** του ήχου αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται τη συχνότητα του ηχητικού κύματος και αποτελεί ένα υποκειμενικό χαρακτηριστικό του ήχου. Όσο πιο γρήγορα δονείται η ηχητική πηγή, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η συχνότητα, και επομένως τόσο μεγαλύτερο θα είναι και το ύψος του ήχου. Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι ο ήχος είναι **οξύς**. Αν η συχνότητα δόνησης της ηχητικής πηγής είναι μικρή, τότε ο ήχος που παράγεται θα έχει μικρό ύψος. Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι ο ήχος είναι **βαρύς**.

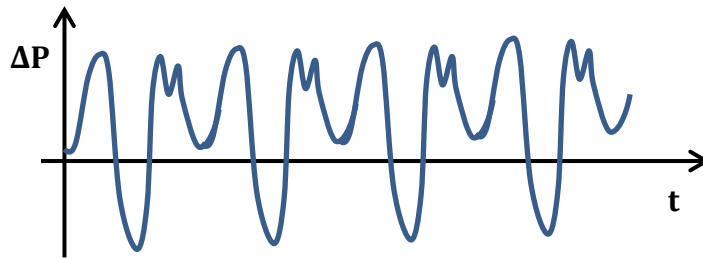
Το τρίτο βασικό υποκειμενικό γνώρισμα του ήχου είναι η **χροιά**, χάρη στην οποία μπορούμε να διακρίνουμε δύο ήχους που παράγονται από διαφορετικού είδους ηχητικές πηγές, ακόμα και όταν τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά τους είναι τα ίδια. Η χροιά οφείλεται στο γεγονός ότι οι μουσικοί ήχοι δεν είναι απλοί (δεν αποτελούνται μόνο από μια συχνότητα) αλλά είναι σύνθετοι, δηλαδή είναι προϊόν σύνθεσης πολλών απλών ήχων.

Συγκεκριμένα, ένας απλός ήχος είναι ο ήχος του οποίου η μεταβολή της πίεσης, κατά τη διάδοσή του στον αέρα, έχει τη μορφή του απλού αρμονικού κύματος (ημιτονοειδής συνάρτηση του χρόνου) που επαναλαμβάνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα με αμείωτο πλάτος. Ο απλός ήχος χαρακτηρίζεται από τη συχνότητα και το πλάτος της ταλάντωσης των σωματιδίων του αέρα στον οποίο διαδίδεται. Ο απλός ήχος χαρακτηρίζεται από μια συχνότητα. Ένας τέτοιος ήχος παράγεται από τη δόνηση ενός διαπασών.



**Εικόνα 2- 32:** Απλός ήχος

Σύνθετος ήχος είναι ο ήχος στον οποίο η μεταβολή της πίεσης του αέρα είναι περιοδική (επαναλαμβάνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα), αλλά δεν είναι αρμονική. Ο σύνθετος ήχος αποτελείται από πολλούς απλούς ήχους.



Εικόνα 2- 33: Σύνθετος ήχος

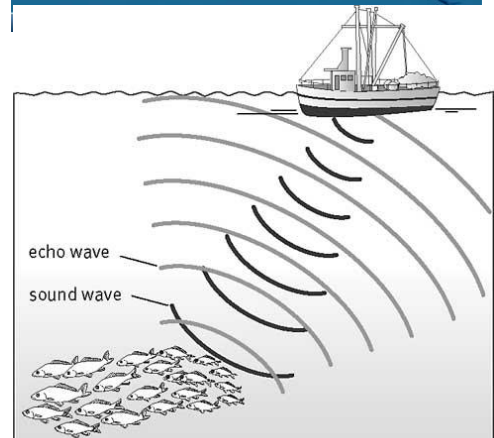
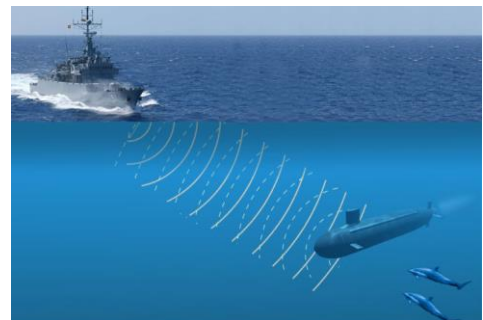
### Δραστηριότητα 2- 13: Χροιά ήχου

Να αναλύσετε με τη χρήση ενός αισθητήρα ήχου και του λογισμικού DataStudio τις κυματομορφές διαφόρων έγχορδων οργάνων (μπορείτε να αξιοποιήσετε και την εφαρμογή «rhyrhex» στο κινητό σας τηλέφωνο. Τι παρατηρείτε;

### Υπέρηχοι και Τεχνολογικές εφαρμογές Σόναρ (ηχοβολιστικές συσκευές)

Οι υπέρηχοι χρησιμοποιούνται στις συσκευές αυτές για την ανίχνευση σωμάτων που κινούνται υποβρυχίως για την εξέταση της μορφολογίας του βυθού και για τον προσδιορισμό του βάθους σε ένα συγκεκριμένο σημείο.

Μια μονάδα σόναρ αποτελείται από έναν πομπό και έναν δέκτη υπερήχων. Τοποθετείται συνήθως κάτω από την καρίνα ενός πλοίου. Το σόναρ λειτουργεί ως εξής: ο πομπός εκπέμπει ένα σύντομο παλμό υπερήχων, ο οποίος ανακλάται, επιστρέφει και ανιχνεύεται από τον δέκτη. Με τον τρόπο αυτό, προσδιορίζεται το βάθος από τον συνολικό χρόνο που κάνει ο παλμός κατά τη διαδρομή του από τον πομπό στο βυθό και από το βυθό στον δέκτη και από την ταχύτητα  $f$  του ήχου στο νερό ( $v = \frac{2l}{t}$ ).



Elizabeth Morales

Εικόνα 2- 34: Υπέρηχοι και συστήματα Σόναρ

### Υπέρηχοι στην Ιατρική

Οι υπέρηχοι χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην ιατρική για διαγνωστικούς και θεραπευτικούς σκοπούς. Η λειτουργία των υπερηχογράφων είναι η εξής: Ένας παλμός υψηλής συχνότητας εκπέμπεται από τον πομπό της συσκευής και κατευθύνεται στην περιοχή του σώματος του ανθρώπου που πρόκειται να εξεταστεί. Αφού ο παλμός εισέλθει στο σώμα ανακλάται σε διάφορα «εμπόδια». Τα «εμπόδια» αυτά μπορεί να είναι οι ιστοί που περιβάλλουν τα όργανα του σώματος και τα διαχωρίζουν από τον γύρω



Εικόνα 2- 35: Υπερηχογράφος

χώρο. Οι ιστοί αυτοί έχουν διαφορετική πυκνότητα τόσο από το εσωτερικό των οργάνων τα οποία περικλείουν όσο και από τον γύρω χώρο. Έτσι ο παλμός ανακλάται στο σώμα κάθε φορά που συναντά διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ δύο περιοχών που έχουν διαφορετικές πυκνότητες και επιστρέφει στο δέκτη. Αυτές οι ανακλάσεις των υπερήχων σχηματίζουν το υπερηχογράφημα, το οποίο απεικονίζει την εσωτερική ανατομία μιας συγκεκριμένης περιοχής του σώματος.

Μπορείτε να δείτε τον τρόπο λειτουργίας των υπερήχων στην Ιατρική στο βίντεο της ιστοσελίδας: <https://www.youtube.com/watch?v=l1Bdp2tMFsY>

## Ασκήσεις

1. Να συμπληρώσετε τον Πίνακα 2-4 με την ένδειξη Σωστό / Λάθος:

**Πίνακας 2- 4**

A/A	Πρόταση	Σ / Λ
1	Ο ήχος στα αέρια είναι:	
α.	Εγκάρσιο κύμα	
β.	Διάμηκες κύμα	
γ.	Ηλεκτρομαγνητικό κύμα	
2.	Ένας ακουστός ήχος από έναν άνθρωπο θα μπορούσε να έχει συχνότητα:	
α.	0,1 Hz	
β.	100 Hz	
γ.	1 MHz	
δ.	100 MHz	
3.	Όσο πιο μεγάλη είναι η συχνότητα ενός ηχητικού κύματος τόσο:	
α.	Μικρότερο είναι το ύψος του (μπάσος ήχος)	
β.	Μεγαλύτερο είναι το ύψος του	
γ.	Δυνατότερα ακούγεται	
δ.	Μεγαλύτερο είναι το μήκος κύματος του	

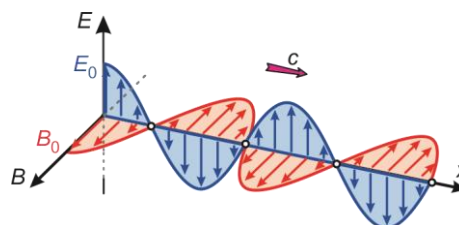
2. Σε ένα τόπο, κάποιος ακούει τον κρότο από μια αστραπή 12 s μετά που βλέπει την λάμψη. Να υπολογίσετε πόσο μακριά από τον τόπο αυτό δημιουργήθηκε η αστραπή, αν  $v_{\text{ήχου}} = 340 \text{ m/s}$  και  $v_{\text{φωτός}} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ .

3. Να εξηγήσετε κατά πόσον το μήκος κύματος ενός ήχου αυξάνεται, ελαττώνεται ή παραμένει το ίδιο καθώς το κύμα ταξιδεύει από τον αέρα στο νερό. (Σημείωση: Η συχνότητα του ήχου δεν αλλάζει καθώς ο ήχος περνάει από τον αέρα στο νερό.)

## Ηλεκτρομαγνητικά κύματα

### Ηλεκτρομαγνητικά κύματα

Το **ηλεκτρομαγνητικό** κύμα είναι η διάδοση στον χώρο ενός ηλεκτρικού και ενός μαγνητικού πεδίου, που παράγονται το ένα από το άλλο. Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα διαδίδεται στο κενό χωρίς τη μεσολάβηση κάποιου υλικού μέσου, με ταχύτητα ίση με την ταχύτητα του φωτός στο κενό ( $c = 299792458$  m/s).



**Εικόνα 2- 36:** Διάδοση ηλεκτρομαγνητικού κύματος

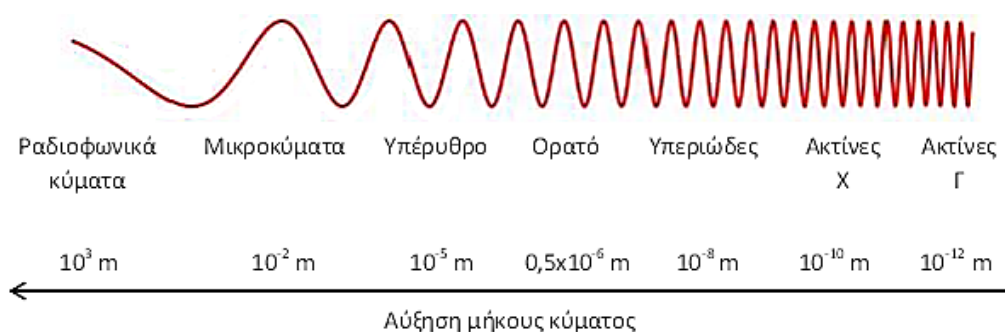
Το ορατό φως, τα ραδιοφωνικά κύματα, τα κύματα της τηλεόρασης, τα μικροκύματα, η υπέρυθη και υπεριώδης ακτινοβολία, οι ακτίνες X και οι ακτίνες γ αποτελούν παραδείγματα ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται και σε υλικά μέσα, με ταχύτητα μικρότερη από την ταχύτητα του φωτός στο κενό.

### Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Υπάρχουν πολλά είδη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Τα διάφορα είδη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές και στις εφαρμογές και στις μεθόδους παραγωγής τους. Διαδίδονται στο κενό με την ίδια ταχύτητα αλλά διαφέρουν ως προς τη συχνότητα και το μήκος κύματος τους..

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα αποτελείται από τα μήκη κύματος και τις αντίστοιχες συχνότητες όλων των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Η Εικόνα 2-37 δείχνει ολόκληρη την περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.



**Εικόνα 2- 37:** Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα διαιρείται σε επτά περιοχές: Ραδιοκύματα, Μικροκύματα, Υπέρυθη ακτινοβολία, Ορατό φως, Υπεριώδη ακτινοβολία, ακτίνες X και ακτίνες Γ.

Μπορείτε να δείτε περιγραφή των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στο βίντεο στην ιστοσελίδα: <https://www.youtube.com/watch?v=cfXzwh3KadE>

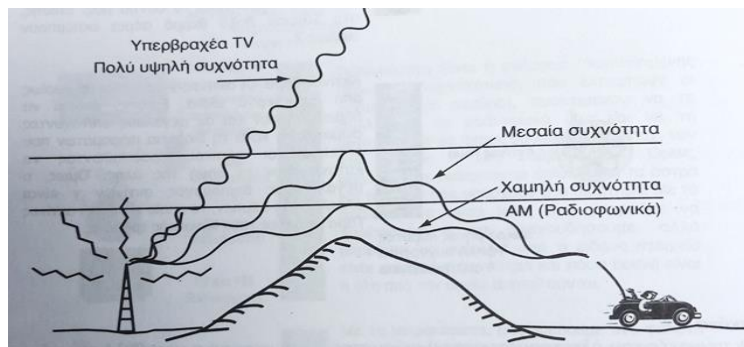
## Ραδιοκύματα

Εκπέμπονται από τις κεραιές των ραδιοφωνικών σταθμών και «συλλέγονται» από τους δέκτες των ραδιοφώνων μας και μετατρέπονται σε ήχους. Ραδιοκύματα όμως εκπέμπονται από τα άστρα και τα αέρια που υπάρχουν στο διάστημα. Με τα ραδιοκύματα αυτά μπορούμε να μάθουμε πληροφορίες για τα στοιχεία από τα οποία είναι φτιαγμένα τα άστρα και πόσο πυκνή είναι η ύλη από την οποία αποτελούνται.

Τα ραδιοκύματα καλύπτουν την περιοχή του φάσματος που έχει τις μικρότερες συχνότητες και τα μεγαλύτερα μήκη κύματος. Η φύση και οι ιδιότητες των ραδιοκυμάτων μελετήθηκαν από τον Hertz. Τα ραδιοκύματα διαδίδονται τόσο στο κενό όσο και στην ατμόσφαιρα της Γης.

Τα ραδιοκύματα χρησιμοποιούνται συνήθως στη ραδιοφωνία και στην τηλεόραση. Παράγονται κατά την ταλάντωση ηλεκτρονίων σε ένα αγωγό που λειτουργεί ως κεραία εκπομπής (πομπός). Εάν ένας άλλος αγωγός προσανατολιστεί κατάλληλα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κεραία λήψης (δέκτης). Σ' αυτή την περίπτωση, τα ηλεκτρόνια του δέκτη αρχίζουν να ταλαντώνονται σύμφωνα με το σήμα που εξέπεμψε η κεραία εκπομπής.

Τα ραδιοκύματα χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση του ήχου παρόλο που δεν είναι ηχητικά κύματα. Πληροφορίες όπως ο ήχος ή η εικόνα μιας τηλεοπτικής εκπομπής μετασχηματίζονται και κωδικοποιούνται σε σήματα ραδιοκυμάτων. Έτσι διαδίδονται ως ηλεκτρομαγνητικά κύματα, τα οποία αποκωδικοποιούνται στη συσκευή του δέκτη. Η κωδικοποίηση του αρχικού σήματος γίνεται με μια διαδικασία που ονομάζεται διαμόρφωση και μπορεί να είναι είτε **διαμόρφωση του πλάτους AM (Amplitude Modulation)** του κύματος είτε **διαμόρφωση της συχνότητας FM (Frequency Modulation)** του κύματος.



**Εικόνα 2- 38:** Τα ραδιοκύματα με πολύ ψηλές συχνότητες (FM και TV) περνούν ελεύθερα από την ατμόσφαιρα, ενώ τα κύματα με τις μικρότερες συχνότητες (AM) ανακλώνται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας

## Μικροκύματα

Τα χρησιμοποιούμε για να ζεστάνουμε ή να ψήσουμε το φαγητό μας. Τα χρησιμοποιούν οι αστρονόμοι για να μάθουν για τη δομή του γαλαξία μας.

### Υπέρυθρη ακτινοβολία

Η υπέρυθρη ακτινοβολία οφείλεται στις ταλαντώσεις των ηλεκτρονίων των ατόμων που αποτελούν ένα σώμα. Η θερμοκρασία ενός σώματος εκφράζει το γεγονός ότι τα άτομα του σώματος κινούνται ως αποτέλεσμα των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων. Εξαιτίας αυτών των αλληλεπιδράσεων, τα ηλεκτρόνια πάλλονται και ακτινοβολούν ενέργεια στην υπέρυθρη περιοχή του φάσματος.

Η υπέρυθη ακτινοβολία απορροφάται από τα σώματα. Σε αυτή την περίπτωση, αυξάνεται η θερμοκρασία των σωμάτων. Το ανθρώπινο δέρμα είναι πολύ ευαίσθητο στην υπέρυθη ακτινοβολία με αποτέλεσμα να αισθανόμαστε τη «ζέστη», όταν υπέρυθη ακτινοβολία πέσει στο σώμα μας όπως συμβαίνει όταν καθόμαστε απέναντι από ηλεκτρικές θερμάστρες ή στον ήλιο.

### **Ορατό φως**

Το ανθρώπινο μάτι ανταποκρίνεται σε μια μικρή μόνο περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, η οποία είναι γνωστή ως περιοχή του ορατού φωτός. Όπως έχουμε αναφέρει, όλα τα σώματα εκπέμπουν ακτινοβολία. Για να είναι όμως ορατή αυτή η ακτινοβολία θα πρέπει η θερμοκρασία του σώματος να είναι μερικές χιλιάδες βαθμοί Κελσίου, όπως συμβαίνει με τον Ήλιο που έχει θερμοκρασία 5500 °C στην επιφάνεια του. Δεν είναι τυχαίο ότι τα μάτια μας είναι πιο ευαίσθητα σε αυτή την περιοχή του φάσματος. Αυτό συμβαίνει γιατί η ατμόσφαιρα της Γης είναι αρκετά διαφανής στο ορατό φως, αδιαφανής στο μεγαλύτερο μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας και ημιδιαφανής στην υπέρυθη ακτινοβολία. Έτσι παρά το γεγονός ότι τα μάτια του ανθρώπου είναι ευαίσθητα μόνο σε αυτή την περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, η περιοχή αυτή είναι η πιο σημαντική για τις συνθήκες ζωής στην επιφάνεια της Γης.

### **Υπεριώδης ακτινοβολία**

Η υπεριώδης ακτινοβολία είναι η ακτινοβολία που εκτείνεται πέραν του ιώδους, στην μη ορατή περιοχή του φάσματος. Η υπεριώδης ακτινοβολία είναι υψηλής ενέργειας ακτινοβολία. Δηλαδή, τα υπεριώδη κύματα μεταφέρουν πολύ μεγαλύτερα ποσά ενέργειας από τα αντίστοιχα κύματα του ορατού φωτός και της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Αυτό συμβαίνει γιατί η ενέργεια των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι ανάλογη της συχνότητάς τους. Για το λόγο αυτό η υπεριώδης ακτινοβολία είναι πολύ επιζήμια για τους ζωντανούς οργανισμούς. Μπορεί να προκαλέσει καταστροφές στους ιστούς του δέρματος και να προκαλέσει σοβαρές βλάβες στα μάτια.

Η υπεριώδης ακτινοβολία είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία εγκαυμάτων κατά τη διάρκεια της ηλιοθεραπείας τους καλοκαιρινούς μήνες. Αν η έκθεση του σώματος στην υπεριώδη ακτινοβολία είναι ελεγχόμενη, βοηθά στην ανάπτυξη της μελανίνης και στο μαύρισμα του δέρματος. Η παρατεταμένη όμως έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει εγκαύματα στο δέρμα, ακόμη και καρκίνο του δέρματος.



## Ακτίνες X

Οι ακτίνες X είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με συχνότητες ακόμη μεγαλύτερες από αυτές της υπεριώδους ακτινοβολίας. Ανακαλύφθηκαν τυχαία από τον Roentgen το 1895. Ονομάστηκαν έτσι γιατί στην αρχή η φύση των ακτίνων αυτών ήταν άγνωστη. Οι ακτίνες X είναι μια πολύ διεισδυτική ακτινοβολία που μπορεί να διαπεράσει υλικά αδιαφανή για το ορατό φως.



Εικόνα 2- 39: Ακτινογραφία

Οι ακτίνες X μπορούν να διαπεράσουν μαλακούς ιστούς αλλά απορροφώνται από υλικά μεγαλύτερης πυκνότητας όπως οστά και μέταλλα. Αυτό οδήγησε στη χρήση τους στην Ιατρική για τη διαπίστωση καταγμάτων, πνευμονίας κ.λπ.

Στη βιομηχανία οι ακτίνες X χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο συγκολλήσεων μεταξύ μεταλλικών σωμάτων. Επιπλέον, η αξιοποίηση των ακτίνων X στην κρυσταλλογραφία για τη μελέτη της δομής των υλικών οδήγησε και σε αντίστοιχες εφαρμογές στη βιολογία που βοήθησαν στην ανακάλυψη της ελικοειδούς δομής του DNA.

Μπορείτε να δείτε τον τρόπο εφαρμογής των ακτίνων X στην ιστοσελίδα: [https://www.youtube.com/watch?v=hTz\\_rGP4v9Y](https://www.youtube.com/watch?v=hTz_rGP4v9Y)

## Ακτίνες γ

Οι ακτίνες γ έχουν τις μεγαλύτερες συχνότητες από όλες τις ακτινοβολίες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Είναι ακτινοβολία εξαιρετικά υψηλής ενέργειας.

Οι ακτίνες γ παράγονται κατά τη διάσπαση ραδιενεργών πυρήνων. Παράγονται επίσης και κατά τις θερμοπυρηνικές αντιδράσεις στο εσωτερικό του Ήλιου. Επιπλέον, ένα σημαντικό ποσοστό ακτίνων γ δημιουργείται κατά τη σύγκρουση των σωματιδίων της κοσμικής ακτινοβολίας που προέρχεται από τα διάφορα σημεία του σύμπαντος με τα μόρια ή άτομα των στοιχείων που συναντούν στην ανώτερη ατμόσφαιρα της Γης. Πολλές από αυτές τις ακτίνες γ καταφέρνουν να διαπεράσουν την ατμόσφαιρα και να φτάσουν στην επιφάνεια της Γης.

## Ασκήσεις

1. Να συμπληρώσετε τον Πίνακα 2-5 με την ένδειξη Σωστό / Λάθος:

Πίνακας 2- 5

A/A	Πρόταση	Σ / Λ
1	Τα ραδιοκύματα διαδίδονται:	
α.	Πολύ πιο αργά από το ορατό φως	
β.	Ελάχιστα πιο αργά από το ορατό φως	
γ.	Με την ίδια ταχύτητα με το ορατό φως	
δ.	Πιο γρήγορα από το ορατό φως	
2.	Η υπέρυθη ακτινοβολία ( $f = 10^{14}$ Hz) έχει μήκος κύματος κοντά στο	
α.	1 m	
β.	1 mm	
γ.	1 $\mu$ m	
δ.	1 nm	

3.	Οι διαφορετικές ιδιότητες τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα στις διάφορες περιοχές του φάσματος (μικροκύματα, ραδιοκύματα, υπέρυθρη ακτινοβολία κ.λπ.) οφείλονται:	
α.	Στην ταχύτητά τους	
β.	Στο πλάτος τους	
γ.	Στην έντασή τους	
δ.	Στο μήκος κύματος τους	

2. Κάποιες ακτίνες X που παράγονται από ένα μηχάνημα ακτίνων X έχουν μήκος κύματος 2,1 nm. Να υπολογίσετε τη συχνότητά τους.

3. Ένας ραδιοφωνικός σταθμός εκπέμπει ένα ραδιοκύμα του οποίου το μήκος κύματος είναι 250 nm.

A. Να υπολογίσετε τη συχνότητα του κύματος.

B. Να εξηγήσετε κατά πόσον αυτό το κύμα είναι AM ή FM.

4. Ο λαμπρότερος αστέρας στον ουρανό είναι ο Σείριος, ο οποίος απέχει από εμάς  $8,3 \times 10^{16}$  m. Όταν κοιτάζουμε αυτόν τον αστέρα, στην πραγματικότητα πόσο πίσω στον χρόνο τον βλέπουμε; Να δώσετε την απάντησή σας σε έτη.

5. Ο Neil Armstrong ήταν ο πρώτος άνθρωπος που περπάτησε στη Σελήνη. Η απόσταση Γης – Σελήνης είναι  $3,85 \times 10^8$  m. Να υπολογίσετε:

A. Σε πόσο χρόνο έφτασε η φωνή του στη Γη με τη βοήθεια ραδιοκυμάτων.

B. Τον χρόνο που θα χρειαστεί για να φτάσει η φωνή ενός αστροναύτη που κάποια μέρα θα περπατήσει στον πλανήτη Άρη. Η μέση απόσταση του πλανήτη Άρη από τη Γη είναι  $5,6 \times 10^{10}$  m.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ

### Μαγνητισμός

Ξέρουμε, από την εμπειρία της καθημερινής ζωής, ότι κάποια υλικά που ονομάζουμε μαγνήτες έλκουν σιδερένια αντικείμενα αλλά και έλκονται ή απωθούνται από άλλους μαγνήτες. Τέτοιες εμπειρικές διαπιστώσεις έγιναν από τα αρχαία χρόνια, όταν οι άνθρωποι παρατήρησαν ότι μερικά κομμάτια από ένα συγκεκριμένο πέτρωμα είχαν την ιδιότητα να έλκουν σιδερένια αντικείμενα αλλά και να έλκονται ή να απωθούνται μεταξύ τους. Το πέτρωμα αυτό, μαγνητίτης [Μαγνήτης Λίθος], είναι ένα φυσικό ορυκτό του σιδήρου ( $Fe_3O_4$ ) και πιθανότατα πήρε το όνομα του από την αρχαία πόλη της Μαγνησίας του Σιπύλου (που ιδρύθηκε στην περιοχή της Μικράς Ασίας το 2<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ.) στην οποία υπήρχαν μεγάλα κοιτάσματα του ορυκτού.



Εικόνα 3- 1 Μαγνήτης Λίθος

### Ορισμός μαγνήτισης

Οι μαγνήτες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, με μαγνητικές δυνάμεις εξ' αιτίας της ιδιότητας των υλικών τους, που ονομάζεται μαγνήτιση. Η ιδιότητα αυτή των μαγνητών οφείλεται σε ηλεκτρικά ρεύματα, στο εσωτερικό τους, που δημιουργούνται από κινούμενα ηλεκτρικά φορτία.

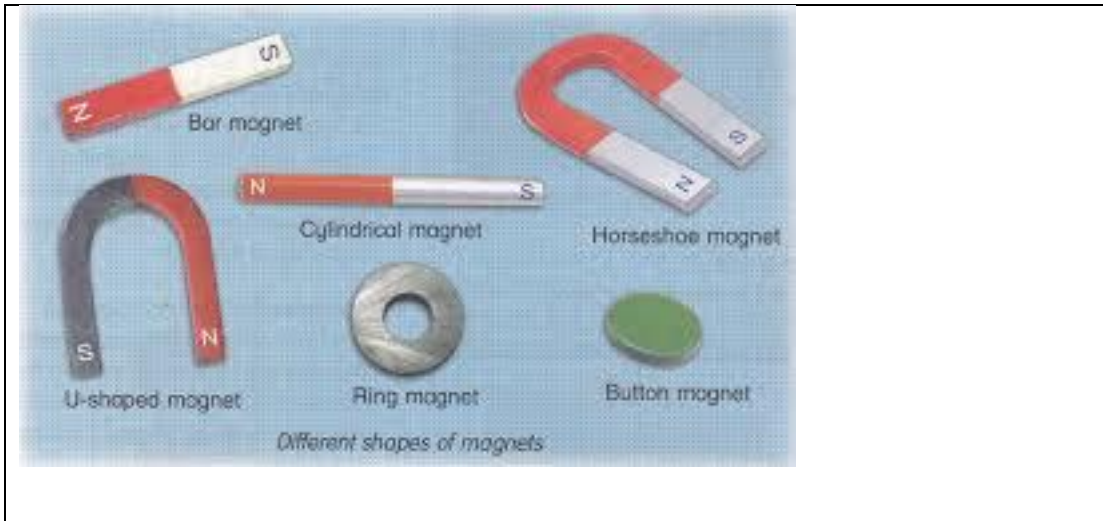
### Σιδηρομαγνητικά υλικά

Επειδή τα υλικά είναι διαπερατά στη μαγνήτιση, άλλα λιγότερο και άλλα περισσότερο, κατατάσσονται σύμφωνα με την ικανότητα τους να μαγνητίζονται, δηλαδή να αποκτούν παροδική μαγνήτιση και να διατηρούν τη μαγνητική τους ιδιότητα. Όσο πιο εύκολα μαγνητίζονται τόσο πιο δύσκολα χάνουν τη μαγνητική τους ιδιότητα. Τέτοια υλικά ονομάζονται σιδηρομαγνητικά, από το σίδηρο που είναι ο κυριότερος εκπρόσωπος.

### Μόνιμοι μαγνήτες – Μαγνητική δύναμη

Εκτός από το πέτρωμα μαγνητίτη, που αποτελεί ένα φυσικό μόνιμο μαγνήτη, άλλα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή μόνιμων μαγνητών, είναι ο σίδηρος (Fe), το κοβάλτιο (Co) το νικέλιο (Ni) αλλά και κράματα ή οξειδία τους.

Συναντάμε τους μόνιμους μαγνήτες σε διάφορα σχήματα (εικόνα 3-2), με πιο συνηθισμένα τη ράβδο, το πέταλο, τον κύλινδρο και το δακτύλιο.



Εικόνα 3- 2 Σχήματα μαγνητών

**Δραστηριότητα 3- 1 Έλξη και άπωση μαγνητών**

Να τοποθετήσετε δύο ραβδόμορφους μαγνήτες τον ένα κοντά στον άλλο και να τους πλησιάζετε. Τι παρατηρείτε;

---



---

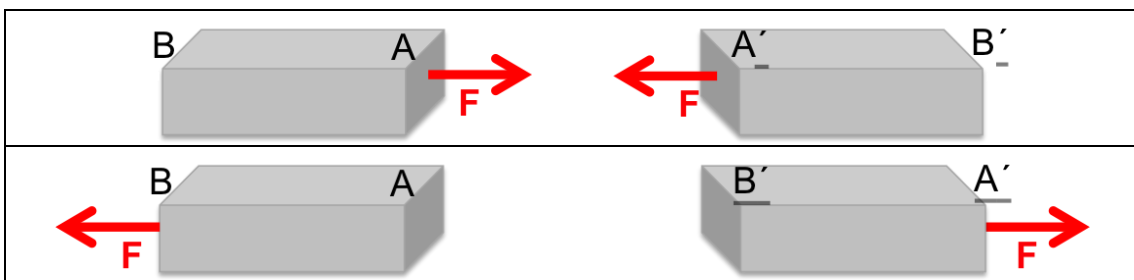
Να αντιστρέψετε τον ένα από τους δύο μαγνήτες και επαναλάβετε την ίδια διαδικασία. Τι παρατηρείτε;

---



---

Όπως διαπιστώνουμε, πλησιάζοντας δύο μόνιμους μαγνήτες, αυτοί μπορεί να έλκονται ή να απωθούνται. Στην εικόνα 3-3, τα άκρα A και A' δύο ραβδόμορφων μαγνητών βρίσκονται σε κάποια απόσταση και έστω ότι έλκονται. Όταν αντιστρέψουμε τον ένα από τους δύο μαγνήτες, φέρνοντας κοντά τα άκρα B' και A, τότε οι δύο μαγνήτες απωθούνται.



Εικόνα 3- 3 Έλξη και άπωση μαγνητών

Κατ' αντιστοιχία με τις ηλεκτρικές δυνάμεις μεταξύ θετικών και αρνητικών ηλεκτρικών φορτίων, μπορούμε να αναπαραστήσουμε τις μαγνητικές δυνάμεις αλληλεπίδρασης, με ένα μοντέλο στο οποίο υπάρχουν δύο είδη μαγνητικών πόλων, τους οποίους ταξινομούμε ως «Βόρειο» (ή **N**orth) και «Νότιο» (**S**outh). Παρατηρούμε ότι, όμοιοι μαγνητικοί πόλοι απωθούνται και αντίθετοι πόλοι έλκονται, όπως συμβαίνει και με τα ηλεκτρικά φορτία. Το μοντέλο αυτό προτάθηκε από τον Άγγλο φυσικό William Gilbert (1544 - 1603) και αποτελεί μια πολύ καλή προσέγγιση σε απλές περιπτώσεις αλληλεπίδρασης μαγνητών.

Εκτός από τις δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ μαγνητών, δύναμη ασκείται από ένα μαγνήτη σε αντικείμενα από σιδηρομαγνητικά υλικά η οποία ονομάζεται μαγνητική δύναμη. Ο μαγνήτης έλκει μια καρφίτσα χωρίς απαραίτητα να έρχεται σε επαφή με αυτή. Επομένως η μαγνητική δύναμη δρα από απόσταση.

### Μαγνητικό πεδίο.

Ένας άλλος τρόπος για να περιγράψουμε τη μαγνητική δύναμη είναι με τη βοήθεια της έννοιας του μαγνητικού πεδίου.

Όταν σε οποιοδήποτε σημείο του χώρου κοντά σε ένα μαγνήτη πλησιάσουμε αιωρούμενα αντικείμενα από σιδηρομαγνητικό υλικό διαπιστώνουμε ότι πάνω τους ασκείται μαγνητική δύναμη. Επομένως η περιοχή του χώρου γύρω από ένα μαγνήτη είναι πεδίο δράσης μαγνητικών δυνάμεων. Όταν σε ένα χώρο δρουν μαγνητικές δυνάμεις τότε λέμε ότι σ' αυτό το χώρο υπάρχει μαγνητικό πεδίο.

Το μαγνητικό πεδίο περιγράφεται σε κάθε σημείο του χώρου από μια διανυσματική ποσότητα. Θα χρησιμοποιούμε το σύμβολο  $\vec{B}$  για αυτό το φυσικό μέγεθος. Το μαγνητικό πεδίο  $\vec{B}$  αναφέρεται και ως **μαγνητική επαγωγή**.

Το μέγεθος αυτό εκφράζεται στο S.I. σε μονάδες Tesla (T), προς τιμή του Σέρβου φυσικού Νικολά Τέσλα (1856–1943) για τη σπουδαία συνεισφορά του στον ηλεκτρομαγνητισμό.

Στον πίνακα 3-1 αναγράφονται χαρακτηριστικά παραδείγματα του μέτρου του μαγνητικού πεδίου (Μαγνητικής επαγωγής).

**Πίνακας 3- 1** Παραδείγματα με τιμές μαγνητικής επαγωγής

Μαγνητικό πεδίο	Μέτρο
Ανθρώπινος εγκέφαλος	1 pT
Επιφάνεια της Γης	50 μT
Μαγνήτης ψυγείου	5 mT
Μαγνητικός τομογράφος	2 T
Εργαστηρίου	20 T
Αστέρας νετρονίων	1 MT

### Μαγνητικές δυναμικές γραμμές

#### Δραστηριότητα 3- 2 Σχηματισμός μαγνητικών δυναμικών γραμμών

Πάνω από ένα ραβδόμορφο μαγνήτη, τοποθετούμε ένα κομμάτι λεπτού χαρτονιού και βάζουμε πάνω του ρινίσματα σιδήρου. Να γράψετε τις παρατηρήσεις σας.

---



---



---



---

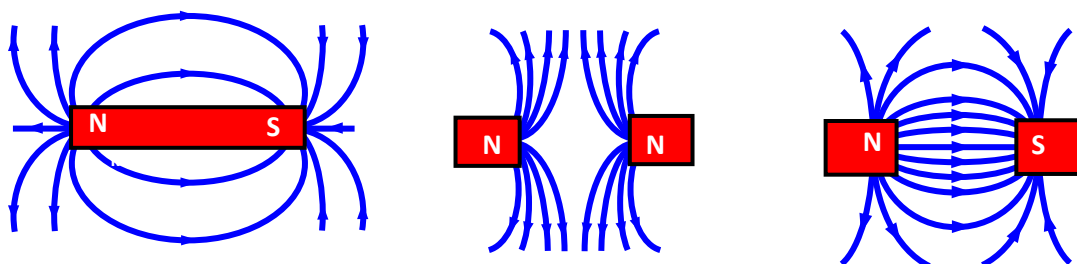
Παρατηρούμε ότι ενώ τα ρινίσματα σιδήρου πέφτουν με τυχαίο προσανατολισμό πάνω στο χαρτόνι, στη συνέχεια περιστρέφονται και προσανατολίζονται σύμφωνα με τις γραμμές που ενώνουν τα δύο άκρα του ραβδόμορφου μαγνήτη (μαγνητικός άξονας) που βρίσκεται από κάτω όπως φαίνεται στην εικόνα 3-4..



Εικόνα 3- 4 Διάταξη ρινισμάτων σιδήρου σε ραβδόμορφο μαγνήτη

Όπου συγκεντρώνονται περισσότερα ρινίσματα εκεί η μαγνητική δύναμη είναι ισχυρότερη και οι γραμμές πυκνότερες. Επειδή οι γραμμές αυτές δείχνουν τη διεύθυνση και την ένταση της μαγνητικής δύναμης, τις ονομάζουμε δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου.

Η αναπαράσταση του μαγνητικού πεδίου με τη χρήση δυναμικών γραμμών για διάφορες διατάξεις μαγνητών φαίνεται στο σχήμα της εικόνας 3-5.

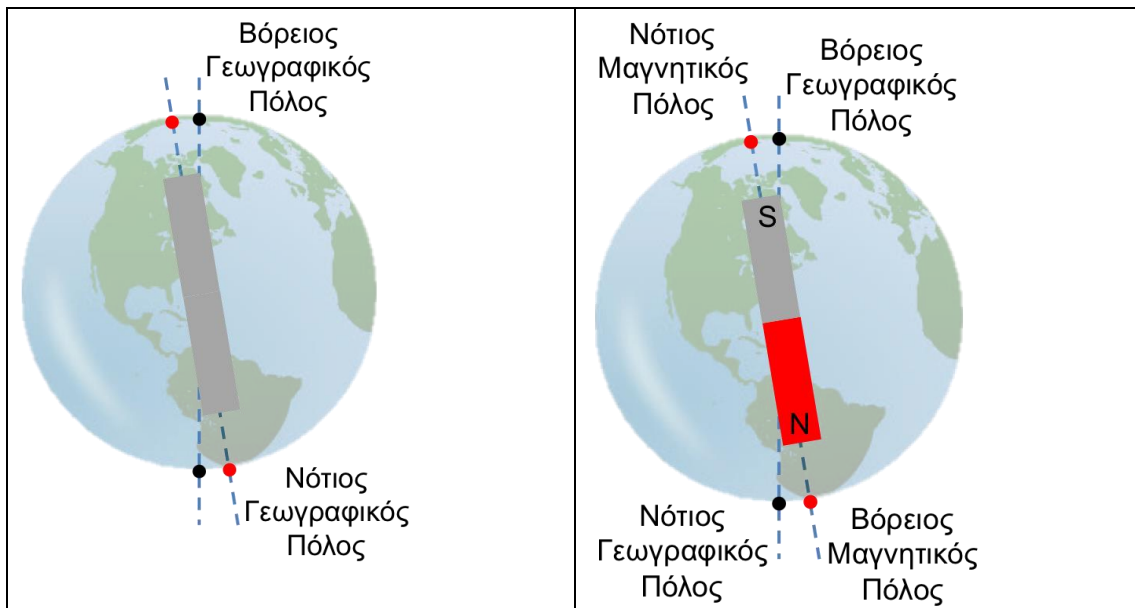


Εικόνα 3- 5 Μορφές δυναμικών γραμμών σε διατάξεις ραβδόμορφων μαγνητών

### Μαγνητικό πεδίο Γης

Όταν ανακαλύφθηκε η μαγνητική ιδιότητα κάποιων από τους λίθους μαγνητίτη, οι άνθρωποι αρχικά τους χρησιμοποίησαν σε αυτοσχέδιες πυξίδες με σκοπό να προσανατολίζονται κατά τις μετακινήσεις τους. Διαπίστωσαν, ότι ένας ραβδόμορφος μαγνήτης κρεμασμένος από ένα λεπτό νήμα, περιστρεφόταν καθώς αυτοί μετακινούνταν, δείχνοντας συνεχώς στο ίδιο σημείο. Ο ένας πόλος του μαγνήτη προς τον Βορρά και ο άλλος προς τον Νότο.

Οι πρώτες μαγνητικές πυξίδες έφτασαν στην Ευρώπη το 12<sup>ο</sup> αιώνα και το 1600 ο Γουίλιαμ Γκίλμπερτ (1544 – 1603) μέσα από τη διάσημη δημοσίευση του «De Magnete» έδωσε μια ολοκληρωμένη ερμηνεία της λειτουργίας της μαγνητικής πυξίδας, καταλήγοντας, ότι η Γη συμπεριφέρεται σαν ένας τεράστιος φυσικός μόνιμος μαγνήτης, σε σχήμα ράβδου, τοποθετημένος κατά μήκος της ευθείας που ενώνει. Οι μαγνητικοί πόλοι αν και βρίσκονται κοντά στους γεωγραφικούς πόλους, δεν συμπίπτουν με αυτούς και έτσι υπάρχει απόκλιση μεταξύ του επιπέδου στο οποίο βρίσκεται ο μαγνητικός άξονας και του επιπέδου του γεωγραφικού άξονα της Γης, η οποία και αλλάζει με την πάροδο του χρόνου.



**Εικόνα 3- 6** Το μαγνητικό πεδίο της Γης μοιάζει με αυτό ενός τεράστιου ραβδόμορφου μαγνήτη

Με βάση το συμπέρασμα ότι, η Γη συμπεριφέρεται σαν ένας ραβδόμορφος μαγνήτης, που προσανατολίζει τις μαγνητικές πυξίδες στην διεύθυνση Βορράς – Νότος, ονομάζουμε τον πόλο του μαγνήτη που δείχνει τον Βόρειο γεωγραφικό πόλο «Βόρειο ή North» και συμβολίζεται με το αρχικό **B** ή **N**, και τον πόλο του μαγνήτη που δείχνει τον Νότιο γεωγραφικό πόλο «Νότιο ή South» και συμβολίζεται με το αρχικό **N** ή **S**.

Σύμφωνα με την περιγραφή αυτή, για να προσανατολίζονται οι μαγνήτες έτσι ώστε ο Βόρειος πόλος τους να δείχνει το Βόρειο γεωγραφικό πόλο, πρέπει να έλκονται από έναν αντίθετο μαγνητικό πόλο. Επομένως, ο ραβδόμορφος μαγνήτης σύμφωνα με τον οποίο συμπεριφέρεται η Γη, έχει αντίθετο προσανατολισμό με τους υπόλοιπους μαγνήτες, με τον Νότιο μαγνητικό πόλο να βρίσκεται στη περιοχή του Βόρειου γεωγραφικού πόλου και αντίστοιχα τον Βόρειο μαγνητικό πόλο στην περιοχή του Νότιου γεωγραφικού πόλου.

### Πείραμα του Oersted

Το 1820 ο Δανός φυσικο-χημικός Hans Christian Oersted (1777 – 1851) παρατήρησε ότι, μια μαγνητική πυξίδα που βρισκόταν κοντά σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα, απόκλινε από τον μαγνητικό βορρά, κάθε φορά που το κύκλωμα διαρρέονταν από ηλεκτρικό ρεύμα.

### Δραστηριότητα 3- 3 Το πείραμα Oersted (Ερστεντ).

Πραγματοποιείτε την πειραματική διάταξη της εικόνας 3-7.

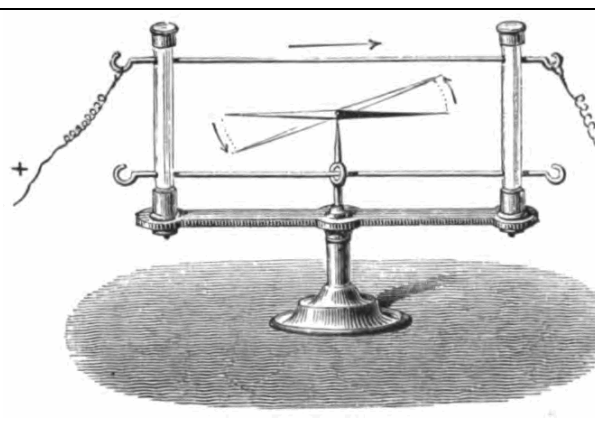


**Εικόνα 3- 7** Διάταξη πειράματος Oersted

Τι παρατηρείτε για την απόκλιση της μαγνητικής βελόνας όταν κλείνει ο διακόπτης;



**Εικόνα 3- 8α** Hans Christian Oersted (1777 – 1851)



**Εικόνα 3- 7β** Το πείραμα Oersted (Έρστεντ)

Αυτή θεωρείται και η πρώτη εμπειρική διαπίστωση συσχέτισης του ηλεκτρισμού με τον μαγνητισμό. Μέχρι τότε δεν ήταν καθόλου προφανής η σύνδεση αυτή και γι' αυτό οι επιστήμονες μελετούσαν και ερμήνευαν ξεχωριστά ηλεκτρικά και μαγνητικά φαινόμενα.

Το συμπέρασμα από το πείραμα του Έρστεντ είναι ότι γύρω από ένα ρευματοφόρο αγωγό αναπτύσσεται ένα μαγνητικό πεδίο.

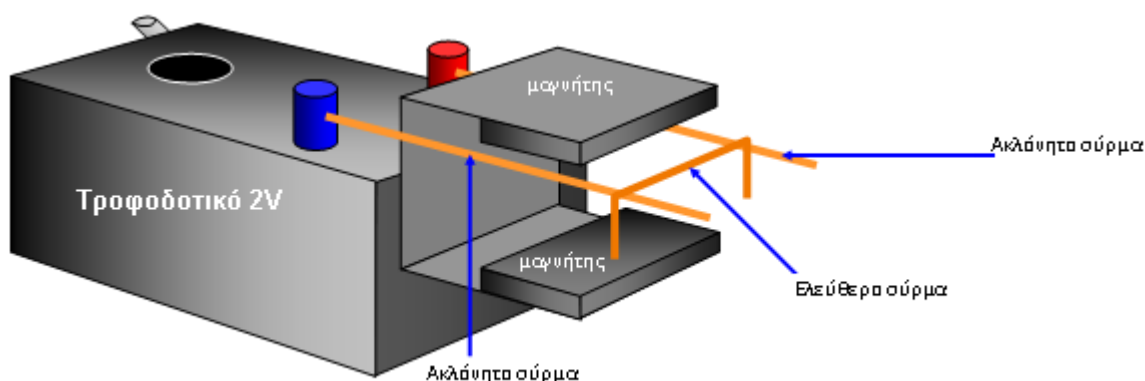
### **Δύναμη σε ρευματοφόρο αγωγό μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο**

#### **Δύναμη Laplace**

Γνωρίζουμε ότι ένας ρευματοφόρος αγωγός παράγει μαγνητικό πεδίο στο χώρο. Επομένως όταν ένας ρευματοφόρος αγωγός βρεθεί μέσα σε ένα άλλο μαγνητικό πεδίο, θα αλληλεπιδρά με αυτό μέσω μαγνητικών δυνάμεων.

### **Δραστηριότητα 3- 4 Ρευματοφόρος αγωγός σε μαγνητικό πεδίο**

Για να μελετήσουμε τη δύναμη που δέχεται ένας ρευματοφόρος αγωγός μέσα σε μαγνητικό πεδίο χρησιμοποιούμε την διάταξη που φαίνεται στην εικόνα 3-9. Η διάταξη αποτελείται από ένα τροφοδοτικό, διακόπτη, και ένα σύρμα το οποίο μπορεί να κινείται πάνω σε ακλόνητα σύρματα που είναι συνδεδεμένα στους ακροδέκτες του τροφοδοτικού. Ο ελεύθερος να κινείται αγωγός, τοποθετείται μέσα στους σπλισμούς ενός ισχυρού μαγνήτη σε σχήμα πετάλου.



**Εικόνα 3- 8** Πάνω στο ελεύθερο σύρμα, όταν διαρρέεται από ρεύμα, ασκείται δύναμη η οποία το μετακινεί. Να κλείσετε το διακόπτη και να παρατηρήσετε την κίνηση του ελεύθερου σύρματος.



Μεταξύ των οπλισμών του μαγνήτη υπάρχει ομογενές μαγνητικό πεδίο  $B$  και ο αγωγός διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα έντασης  $I$ , όταν το κύκλωμα είναι κλειστό. Ο αγωγός δέχεται δύναμη η οποία τον μετακινεί. Η διεύθυνση και το μέτρο της δύναμης καθορίζεται από τη διεύθυνση της μαγνητικής επαγωγής και της έντασης του ρεύματος και τις τιμές της επαγωγής, της έντασης του ρεύματος και του μήκους του αγωγού που είναι μέσα στο πεδίο.

Το μέτρο της δύναμης δίνεται από τη σχέση :

$$F = B I L$$

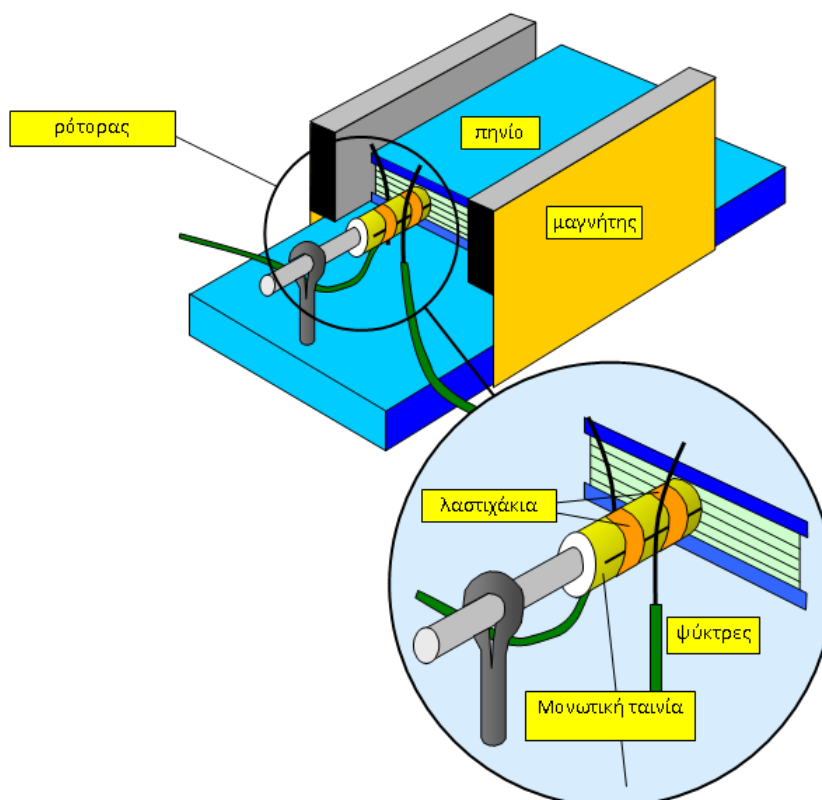
Η δύναμη που ασκείται σε ρευματοφόρο αγωγό μέσα σε μαγνητικό πεδίο είναι επίσης γνωστή ως δύναμη Λαπλάς (Laplace) από τον Γάλλο μαθηματικό Pierre-Simon Laplace (1749 – 1827).

**Αριθμητική εφαρμογή:** Ένας ισχυρός πεταλοειδής μαγνήτης βρίσκεται μεταξύ δύο παράλληλων σταθερών μεταλλικών ράβδων. Μεταξύ των οπλισμών του μαγνήτη υπάρχει ομογενές μαγνητικό πεδίο  $0,2 \text{ T}$  με διεύθυνση κάθετη στο επίπεδο των μεταλλικών ράβδων. Τρίτη ράβδος, μήκους  $5 \text{ cm}$  μπορεί να κινείται πάνω στις άλλες δύο ράβδους με αμελητέα τριβή. Η δύναμη που δέχεται από το μαγνητικό πεδίο η τρίτη ράβδος όταν διαρρέεται από ρεύμα έντασης  $1,5 \text{ A}$  έχει μέτρο

$$F = B I L = (0,2 \text{ T}) \times (1,5 \text{ A}) \times (0,05 \text{ m}) = 0,015 \text{ N}$$

### Εφαρμογές Δύναμης Λαπλάς

Μία από τις πιο χρήσιμες κατασκευές οι οποίες στηρίζονται στην εμφάνιση της δύναμης Λαπλάς είναι ο ηλεκτροκινητήρας (μοτέρ).



**Εικόνα 3- 9** Κατασκευή κινητήρα με τη χρήση απλών υλικών

Στον κινητήρα της εικόνας 3-10, ο αγωγός όπως είναι τυλιγμένος στο ξύλινο πλαίσιο περιέχει πολλές σπείρες σε σχήμα πλαισίου. Η ένταση του ρεύματος έχει αντίθετη φορά στις δύο πλευρές του πλαισίου και έτσι εμφανίζεται ζεύγος δυνάμεων σε κάθε σπείρα (δυνάμεις αντίθετης φοράς), με αποτέλεσμα την περιστροφή του πλαισίου.

## Ερωτήσεις:

1) Ένας ευθύγραμμος ρευματοφόρος αγωγός, βρίσκεται εντός ομογενούς μαγνητικού πεδίου  $B$  και διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα έντασης  $I$ . Ποιο ή ποια από τα επόμενα είναι σωστά:

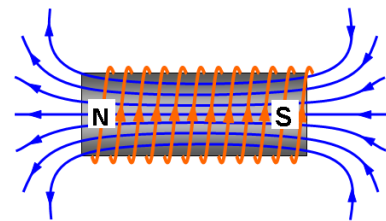
- A) Το μέτρο της δύναμης Λαπλάς τετραπλασιάζεται, αν διπλασιαστεί η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό.
- B) Αν αυξηθεί η Μαγνητική Επαγωγή του μαγνητικού πεδίου, το μέτρο της δύναμης που ασκείται στον αγωγό αυξάνεται.
- Γ) Η φορά της δύναμης Λαπλάς εξαρτάται από τη φορά της μαγνητικής επαγωγής του μαγνητικού πεδίου.

2) Ένας ευθύγραμμος ρευματοφόρος αγωγός δέχεται δύναμη από το μαγνητικό πεδίο ενός μόνιμου μαγνήτη, και εκτρέπεται. Να εξηγήσετε αν ο αγωγός ασκεί δύναμη στον μαγνήτη.

## ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΑΓΩΓΗ

### Το μαγνητικό πεδίο σε σωληνοειδές

Ένα σωληνοειδές το οποίο διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργεί μαγνητικό πεδίο. Η μορφή του μαγνητικού πεδίου είναι η ίδια με αυτή ενός ραβδόμορφου μαγνήτη και μπορεί να μελετηθεί πειραματικά με τη χρήση ρινισμάτων σιδήρου ή με μικρές πυξίδες.

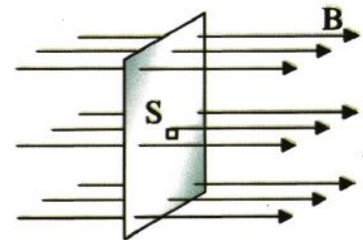


Εικόνα 3- 10 Μαγνητικό πεδίο σωληνοειδούς

Πειραματικά αποδεικνύεται ότι αν βάλουμε μέσα σε ένα σωληνοειδές πυρήνα από μαλακό σίδηρο η μαγνητική επαγωγή του μαγνητικού πεδίου ενισχύεται.

### Μαγνητική ροή

Έστω το ομογενές μαγνητικό πεδίο μαγνητικής επαγωγής  $B$  του σχήματος στην εικόνα 3-12. Μέσα σ' αυτό και κάθετα στις δυναμικές γραμμές τοποθετούμε μία επιφάνεια που έχει εμβαδόν  $S$ .



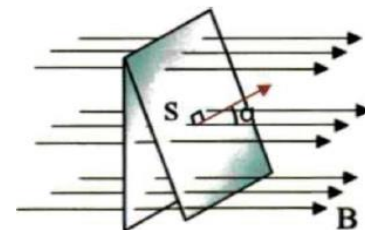
Εικόνα 3- 11

Το μονόμετρο μέγεθος που ισούται με το γινόμενο της μαγνητικής επαγωγής  $B$  του μαγνητικού πεδίου επί το εμβαδό  $S$  της επιφάνειας ονομάζεται μαγνητική ροή  $\Phi$ .

$$\Phi = B S$$

Η μονάδα της μαγνητικής ροής ονομάζεται Weber (Wb) και προκύπτει από το γινόμενο της μονάδας της μαγνητικής επαγωγής του μαγνητικού πεδίου επί τη μονάδα της επιφάνειας, δηλαδή  $1\text{Wb} = 1\text{Tm}^2$ .

Ξέρουμε ότι η μαγνητική επαγωγή  $B$  του μαγνητικού πεδίου μας δίνει την πυκνότητα των δυναμικών γραμμών δηλαδή τον αριθμό των δυναμικών γραμμών που περνούν ανά μονάδα επιφάνειας. Άρα η μαγνητική ροή εκφράζει τον αριθμό των μαγνητικών δυναμικών γραμμών που περνούν από μία επιφάνεια  $S$ .



Εικόνα 3- 12

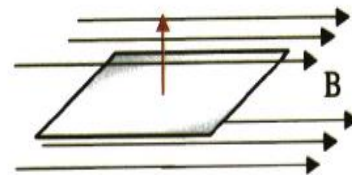
Αν η επιφάνεια S τοποθετηθεί πλάγια στις δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου, εικόνα 3-13, τότε η μαγνητική ροή δίνεται από τη σχέση

$$\Phi = B S \sin \alpha$$

όπου  $\alpha$  είναι η γωνία που σχηματίζει η κάθετος στην επιφάνεια με την μαγνητική επαγωγή του μαγνητικού πεδίου.

### Παρατηρήσεις

- Όταν  $\alpha = 0^\circ$  έχουμε  $\sin 0^\circ = 0$  και η μαγνητική ροή είναι μέγιστη  $\Phi_{\max} = B S$ .
- Όταν  $\alpha = 90^\circ$  έχουμε  $\sin 90^\circ = 1$  και η μαγνητική ροή είναι μηδέν  $\Phi_{\min} = 0$ . Αυτό θα συμβεί όταν ο αγωγός είναι παράλληλος στις δυναμικές γραμμές οπότε καμία δυναμική γραμμή δεν διέρχεται από την επιφάνεια (εικόνα 3-14).



Εικόνα 3- 13

### Ηλεκτρομαγνητική Επαγωγή

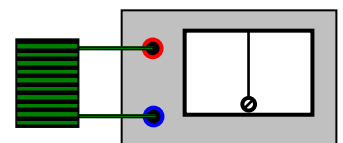
Όπως μάθαμε το ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργεί μαγνητικό πεδίο. Τώρα θα εξετάσουμε το αντίθετο. Δηλαδή τη δημιουργία ρεύματος από το μαγνητικό πεδίο. Ακριβέστερα βέβαια θα εξετάσουμε τη δημιουργία ηλεκτρεγερτικής δύναμης από το μαγνητικό πεδίο.

ο φαινόμενο ονομάζεται **ηλεκτρομαγνητική επαγωγή** ή απλά επαγωγή και διαπιστώθηκε πειραματικά από τον Δανό επιστήμονα Hans Christian Oersted.

### Δραστηριότητα 3- 5

Συνδέουμε τις άκρες ενός πηνίου με ένα γαλβανόμετρο μηδενός(εικόνα 3– 15).

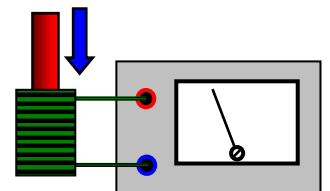
Τι παρατηρούμε; Ποια είναι η ένδειξη του γαλβανομέτρου;



Εικόνα 3- 14

Στη συνέχεια, παίρνουμε ένα μαγνήτη και τον πλησιάζουμε προς το πηνίο(εικόνα 3-16).

Τι παρατηρούμε; Έχει απόκλιση ο δείκτης του οργάνου;



Εικόνα 3- 15

Τι συμβαίνει όταν ακινητοποιήσουμε τον μαγνήτη;

Αναστρέφουμε την πολικότητα του μαγνήτη και κάνουμε το ίδιο πείραμα.  
Τι παρατηρούμε;

---

---

---

Πλησιάζουμε τον μαγνήτη με μεγαλύτερη ταχύτητα. Τι παρατηρούμε στην απόκλιση του δείκτη του γαλβανόμετρου; Είναι μεγαλύτερη απ' ότι στην περίπτωση που μετακινούσαμε τον μαγνήτη με μικρότερη ταχύτητα;

---

---

---

Χρησιμοποιούμε έναν πιο ισχυρό μαγνήτη και τον μετακινούμε με την ίδια ταχύτητα όπως προηγουμένως. Τι διαφορές παρουσιάζονται στην απόκλιση του μαγνήτη;

---

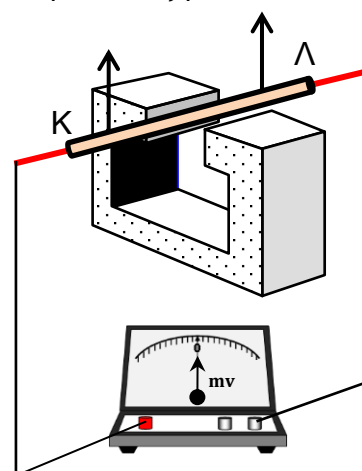
---

---

Επειδή η κίνηση είναι σχετική, τα ίδια ακριβώς αποτελέσματα θα παρατηρήσουμε αν αντί να μετακινούμε το μαγνήτη, μετακινούμε το πηνίο.

Αν ο μαγνήτης είναι ακίνητος τότε το γαλβανόμετρο δεν δείχνει καμιά ένδειξη. Ένας άλλος τρόπος παραγωγής επαγωγικής τάσης είναι όταν ένας ευθύγραμμος αγωγός κινείται μέσα σε μαγνητικό πεδίο με τρόπο ώστε να «κόβει» κάθετα τις μαγνητικές δυναμικές γραμμές του πεδίου (εικόνα 3-17).

Είδαμε ότι το φαινόμενο της επαγωγής είναι άμεσα συνδεδεμένο με την σχετική κίνηση μαγνήτη και πηνίου. Η κίνηση αυτή προκαλεί μεταβολή της μαγνητικής ροής που διέρχεται μέσα από τις σπείρες του πηνίου. Η μεταβολή με οποιονδήποτε τρόπο της μαγνητικής ροής που περνά από τις σπείρες ενός πηνίου προκαλεί ανάπτυξη ηλεκτρεγερτικής δύναμης (Η.Ε.Δ) επαγωγής ή επαγωγικής τάσης στο πηνίο που διαρκεί όσο χρόνο διαρκεί η μεταβολή της μαγνητικής ροής.



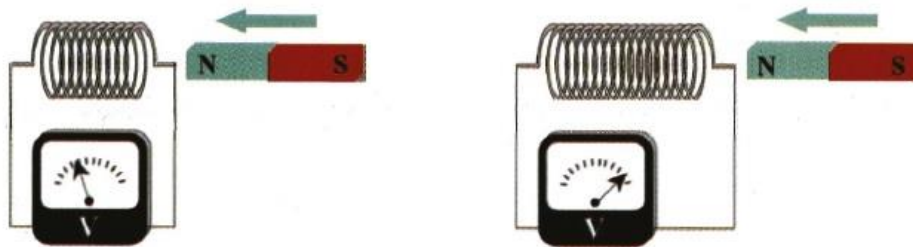
**Εικόνα 3- 16** Η κίνηση αγωγού σε μαγνητικό πεδίο προκαλεί επαγωγική τάση

### **Νόμος επαγωγής του Faraday**

Είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο ότι η επαγωγική τάση είναι μεγαλύτερη, όταν στο πηνίο πλησιάσουμε με την ίδια ταχύτητα ένα ισχυρότερο μαγνήτη. Η μεγαλύτερη επαγωγική τάση του πηνίου είναι φανερό ότι οφείλεται στη μεγαλύτερη μεταβολή της μαγνητικής ροής.

Είδαμε επίσης ότι, όσο πιο γρήγορα πλησιάζουμε τον ίδιο μαγνήτη στο πηνίο τόσο μεγαλύτερη επαγωγική τάση παίρνουμε στο πηνίο. Δηλαδή η επαγωγική τάση του πηνίου για την ίδια μεταβολή της ροής, είναι μεγαλύτερη, όσο μικρότερος είναι ο χρόνος μεταβολής της ροής.

Τέλος, με ένα απλό πείραμα βλέπουμε ότι η επαγωγική τάση γίνεται μεγαλύτερη, όσο μεγαλώνει ο αριθμός των σπειρών του πηνίου, εφόσον ο ίδιος μαγνήτης πλησιάζει το πηνίο με την ίδια ταχύτητα.



**Εικόνα 3- 17** Η επαγωγική τάση γίνεται μεγαλύτερη όσο μεγαλώνει ο αριθμός των σπειρών του πηνίου

Συνοψίζοντας τώρα τα συμπεράσματα από τα παραπάνω πειράματα παίρνουμε τον ακόλουθο νόμο της επαγωγής (**Νόμος του Faraday**):

Η ηλεκτρεγερτική δύναμη (ΗΕΔ) από επαγωγή που δημιουργείται σε ένα πηνίο είναι ανάλογη με το ρυθμό μεταβολής της μαγνητικής ροής  $\Delta\Phi/\Delta t$  και ανάλογη με τον αριθμό  $N$  των σπειρών του πηνίου.

$$E_{επ} = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Η μονάδα μέτρησης στο SI είναι **1Wb/s=1V**.

### Περιστροφική κίνηση πλαισίου σε ομογενές μαγνητικό πεδίο

Σε προηγούμενο κεφάλαιο είχαμε αναφέρει την έννοια της εναλλασσόμενης τάσης. Σ' αυτή την παράγραφο θα μελετήσουμε τον τρόπο παραγωγής της εναλλασσόμενης τάσης.

Το πλαίσιο του διπλανού σχήματος αποτελείται από  $N$  σπείρες και έχει εμβαδόν  $S$ . Το πλαίσιο περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα  $\omega$ , γύρω από οριζόντιο άξονα που βρίσκεται στο επίπεδο του πλαισίου και είναι κάθετος στις μαγνητικές γραμμές ενός ομογενούς μαγνητικού πεδίου μαγνητικής επαγωγής  $B$ .

Η μαγνητική ροή που διαπερνά κάθε σπείρα δίνεται από τη σχέση,

$$\Phi = B S \sin\theta$$

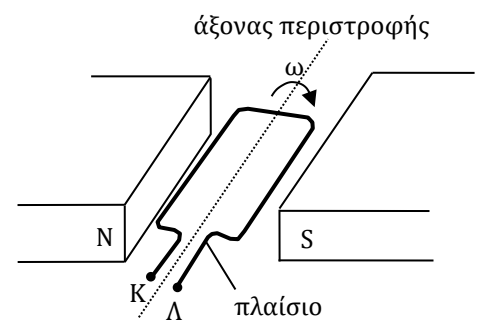
όπου  $\theta$  η γωνία που σχηματίζει κάθε χρονική στιγμή η μαγνητική επαγωγή  $B$  με την κάθετο στο πλαίσιο. Όμως  $\theta = \omega t$ , άρα η μαγνητική ροή που διαπερνά το πλαίσιο τη χρονική στιγμή  $t$  είναι,

$$\Phi = B S \sin\omega t$$

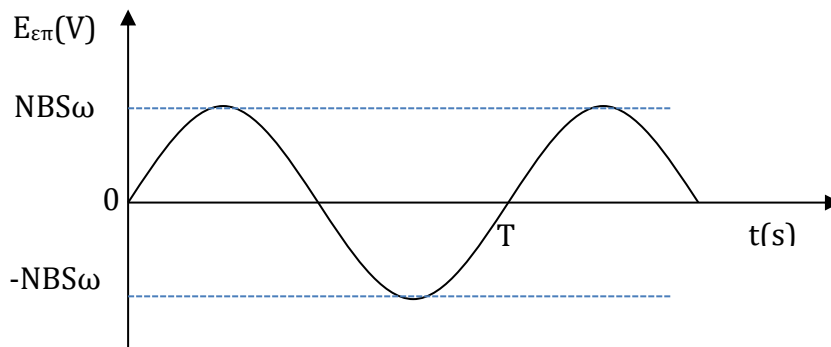
Σύμφωνα με τον νόμο του Faraday στα άκρα  $K, \Lambda$  του πλαισίου θα δημιουργείται επαγωγική τάση,

$$E_{επ} = - N d\Phi/dt = - N B S d(\sin\omega t)/dt \Rightarrow E_{επ} = N B S \omega \eta\mu\omega t$$

Η Η.Ε.Δ από επαγωγή που δημιουργείται στο πλαίσιο είναι ημιτονοειδής συνάρτηση του χρόνου. Η τάση αυτή ονομάζεται **εναλλασσόμενη τάση**. Στο πιο κάτω διάγραμμα φαίνεται η μεταβολή της τάσης αυτής με τον χρόνο.



**Εικόνα 3- 18** Περιστροφική κίνηση πλαισίου σε μαγνητικό πεδίο



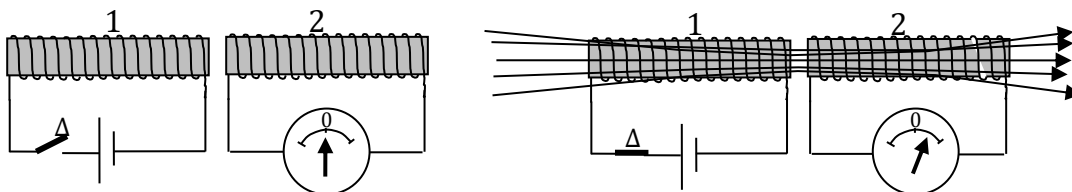
**Εικόνα 3- 20** Μορφή εναλλασσόμενης τάσης

Παρατηρούμε ότι η τάση παίρνει θετικές και αρνητικές τιμές που σημαίνει ότι αλλάζει η πολικότητα της συνεχώς.

Η εναλλασσόμενη τάση που έχουμε στα σπίτια μας αλλάζει πολικότητα 50 φορές το δευτερόλεπτο.

### Αμοιβαία επαγωγή

Στο σχήμα της εικόνας 3- 21 φαίνονται δύο πηνία, το ένα κοντά στο άλλο. Αν ο διακόπτης του πρώτου κυκλώματος κλείσει τότε ο δείκτης του γαλβανόμετρου στο πηνίο 2 αποκλίνει στιγμιαία.



**Εικόνα 3- 21** Στο σχήμα στα αριστερά ο διακόπτης είναι ανοικτός και στο σχήμα δεξιά ο διακόπτης κλείνει

Αυτό σημαίνει ότι στο πηνίο 2 δημιουργήθηκε στιγμιαία τάση (για όσο διαρκεί το κλείσιμο του διακόπτη). Η τάση αυτή ονομάζεται τάση αμοιβαίας επαγωγής.

Αμοιβαία επαγωγή ονομάζουμε το φαινόμενο κατά το οποίο εμφανίζεται επαγωγική τάση στα άκρα ενός πηνίου, όταν μεταβάλλεται η ένταση του ρεύματος που διαρρέει ένα δεύτερο πηνίο με το οποίο βρίσκεται σε επαγωγική σύζευξη.

### Εξήγηση του φαινομένου

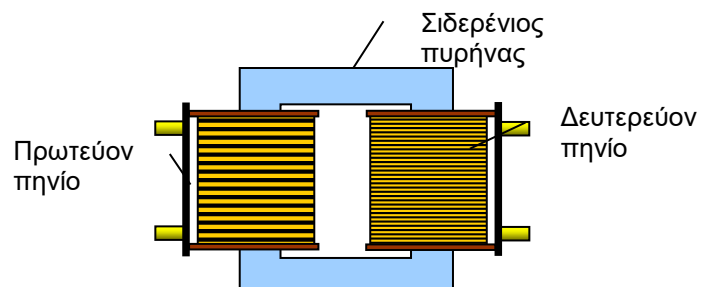
Η μεταβολή της έντασης του ρεύματος  $I$  στο πρωτεύον πηνίο δημιουργεί μεταβολή της μαγνητικής επαγωγής  $B$  στο εσωτερικό του και συνεπώς μεταβάλλεται και η μαγνητική ροή  $\Phi$  που το διαπερνά. Επειδή το πρωτεύον πηνίο βρίσκεται σε επαγωγική σύζευξη με το δευτερεύον οποιαδήποτε μεταβολή της μαγνητικής ροής συμβαίνει στο πρωτεύον πηνίο μεταβιβάζεται η ίδια και στο δευτερεύον. Σύμφωνα με τον νόμο του Faraday κάθε μεταβολή της μαγνητικής ροής δημιουργεί στα άκρα του πηνίου επαγωγική τάση.

Αποδεικνύεται πειραματικά ότι το μέτρο της επαγωγικής τάσης εξαρτάται από,

- Το ρυθμό μεταβολής του ρεύματος στο πρωτεύον. Όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός μεταβολής του ρεύματος τόσο μεγαλύτερη είναι η επαγωγική τάση που δημιουργείται.
- Τον αριθμό των σπειρών των πηνίων. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των σπειρών των πηνίων, τόσο μεγαλύτερη είναι η επαγωγική τάση που δημιουργείται.
- Τον βαθμό σύζευξης των δύο πηνίων. Όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός σύζευξης των δύο πηνίων τόσο μεγαλύτερη είναι η επαγωγική τάση που δημιουργείται.
- Την ύπαρξη πυρήνα. Η ύπαρξη πυρήνα οδηγεί στην δημιουργία μεγαλύτερης επαγωγικής τάσης.

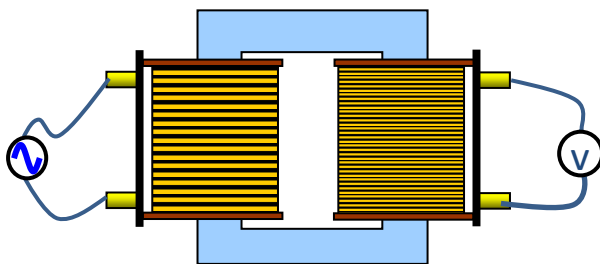
### **Μετασχηματιστής**

Ο μετασχηματιστής είναι μια συσκευή η οποία μπορεί να ανυψώνει ή να υποβιβάζει εναλλασσόμενη τάση. Αποτελείται από δύο πηνία, το πρωτεύον και το δευτερεύον, που είναι ηλεκτρικά μονωμένα μεταξύ τους και περιτυλιγμένα γύρω από σιδερένιο πυρήνα (εικόνα 3-22).



**Εικόνα 3- 22** Μετασχηματιστής

Η λειτουργία ενός μετασχηματιστή στηρίζεται στο φαινόμενο της αμοιβαίας επαγωγής. Όταν εισάγουμε μια εναλλασσόμενη τάση  $V_1$  στο πρωτεύον πηνίο τότε στα άκρα του δευτερεύοντος πηνίου θα επάγεται τάση  $V_2$ .



**Εικόνα 3- 23**

Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι ένας μετασχηματιστής δεν λειτουργεί όταν τροφοδοτείται με συνεχή τάση, δηλαδή στο δευτερεύον πηνίο δεν επάγεται τάση. Αν θεωρήσουμε ότι έχουμε ένα ιδανικό μετασχηματιστή (στον οποίο δεν υπάρχουν απώλειες ενέργειας) και η σύζευξη των δύο πηνίων είναι τέλεια δηλαδή η μαγνητική ροή που περνά από το πρωτεύον περνά και από το δευτερεύον τότε ισχύει ότι,

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

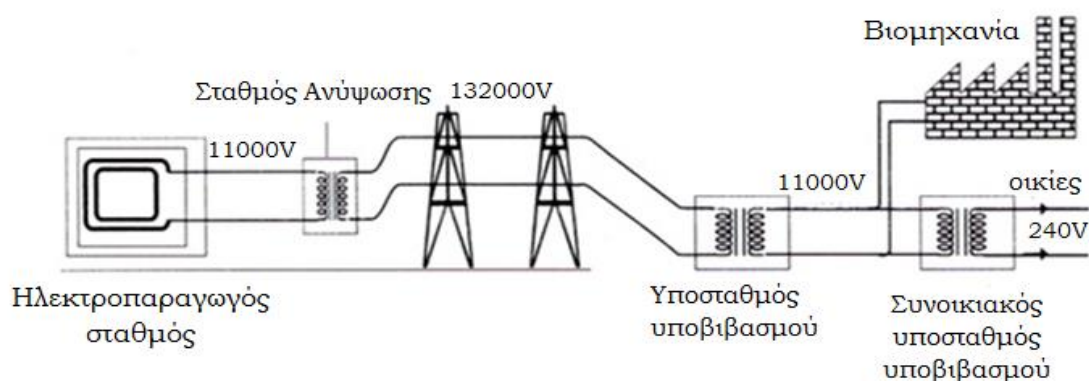
Η πιο πάνω σχέση δείχνει ότι ο αριθμός των σπειρών του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος καθορίζουν την τιμή της τάσης που επάγεται στο δευτερεύον πηνίο. Ο λόγος  $\eta_1/\eta_2$  λέγεται λόγος μετασχηματισμού.

Αν  $\eta_2 > \eta_1$  τότε  $V_2 > V_1$ , δηλαδή ο μετασχηματιστής ανυψώνει την τάση.

Αν  $\eta_2 < \eta_1$  τότε  $V_2 < V_1$ , δηλαδή ο μετασχηματιστής υποβιβάζει την τάση.

### Χρήσεις Μετασχηματιστή

- Στη μετατροπή τάσεων σε επιθυμητές τιμές. Χρησιμοποιούνται για μετατροπή της τάσης των 240V, που φθάνει στα σπίτια μας για οικιακή χρήση, σε τιμές κατάλληλες για τη λειτουργία ηλεκτρικών συσκευών. Για παράδειγμα σε μια τηλεόραση υπάρχουν μετασχηματιστές ανύψωσης της τάσης για την λειτουργία της οθόνης και μετασχηματιστές υποβιβασμού της τάσης για τη λειτουργία του ηλεκτρονικού κυκλώματος.
- Στο βραστήρα νερού. Στο δευτερεύον πηνίο ενός μετασχηματιστή για βραστήρα νερού υπάρχει μόνο μια σπείρα έτσι ώστε να υποβιβάζει την τάση. Έτσι δημιουργείται ρεύμα μεγάλης έντασης για να ζεστάνει το νερό.
- Στη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας. Μια σημαντική χρήση του μετασχηματιστή γίνεται στα ηλεκτρικά δίκτυα για τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας από τον τόπο παραγωγής της στον τόπο κατανάλωσής της (εικόνα 3-24).



**Εικόνα 3- 24** Μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας

Για να αποφεύγονται μεγάλες απώλειες ενέργειας, σε θερμότητα στους αγωγούς του δικτύου μεταφοράς, πρέπει είτε να ελαττώσουμε την αντίσταση  $R$  του αγωγού είτε την ένταση του ρεύματος που διαρρέει τους αγωγούς. Για να ελαττωθεί η αντίσταση  $R$  πρέπει να χρησιμοποιηθούν σύρματα πολύ μεγάλου πάχους. Αυτό όμως έχει πολύ μεγάλο οικονομικό κόστος και συνεπώς είναι ασύμφορο. Αυτό που γίνεται στην πράξη είναι να ελαττώσουμε την ένταση του ρεύματος χρησιμοποιώντας μετασχηματιστές.

Σε κάθε ηλεκτροπαραγωγό σταθμό υπάρχουν μετασχηματιστές οι οποίοι ανυψώνουν την τάση, ώστε στις γραμμές μεταφοράς η ένταση του ρεύματος να είναι χαμηλή. Στο τέλος της γραμμής μεταφοράς υπάρχουν άλλοι μετασχηματιστές που υποβιβάζουν την τάση ώστε να μην δημιουργούνται προβλήματα ασφάλειας στους καταναλωτές.