

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

Ζαφειριάδης Φώτιος   Λέτης Σταύρος   Οικονομίδης Σαράντος   Πανταζής Γεώργιος  
Πεφάνης Παναγιώτης   Πολάτογλου Χαρίτων   Σωτηροπούλου Άννα

# ΦΥΣΙΚΗ

Γ' Γυμνασίου



ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΔΟΣΕΩΝ «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»



**ΦΥΣΙΚΗ**

Γ' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ

**Επιστημονική Επιτροπή Αξιολόγησης**

Συντονιστής/τρια / Αξιολογητής/τρια

**Τολίκα Κωνσταντία**

Εν ενεργεία μέλος Διδακτικού Ερευνητικού Προσωπικού Πανεπιστημίου

Αξιολογητής/τρια

**Ευαγγελοπούλου Αναστασία**

Εν ενεργεία Εκπαιδευτικός

Αξιολογητής/τρια

**Κουντουριώτης Γεώργιος**

Εν ενεργεία Εκπαιδευτικός

Τεχνικός Εμπειρογνώμονας

**Παπουτσάκης Λάμπρος**

Πτυχιούχος Πληροφορικής

Επικουρικός Εμπειρογνώμονας

**Καμβίσιου Σταματία**

Διπλωματούχος τεχνολογίας γραφικών τεχνών

**Υπεύθυνος/η του μαθήματος/γνωστικού  
αντικειμένου στο πλαίσιο της Πράξης**

**Ευαγγελία Χρυσοβέργη, Σύμβουλος Β΄ ΙΕΠ,**  
Μέλος της Επιστημονικής Ομάδας Έργου (ΕΟΕ) της Πράξης

**Πράξη με τίτλο: «Συγγραφή, Αξιολόγηση και Ένταξη διδακτικών βιβλίων στο Μητρώο Διδακτικών Βιβλίων και στην Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Διδακτικών Βιβλίων» με κωδικό ΟΠΣ 6010165 στο Πρόγραμμα «Ανθρώπινο Δυναμικό και Κοινωνική Συνοχή» 2021-2027**

**ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ**

**Σπυρίδων Δουκάκης**

**Πρόεδρος του Δ.Σ. του Ινστιτούτου Εκπαιδευτικής Πολιτικής**

**Υπεύθυνη Πράξης**

**Πολυξένη Μπίλλα**

Σύμβουλος Α΄ του Ινστιτούτου Εκπαιδευτικής Πολιτικής

Προϊσταμένη Τμήματος Β΄ Προγραμμάτων Σπουδών και Εκπαιδευτικού Υλικού

**Αναπληρώτρια Υπεύθυνη Πράξης**

**Αννα-Αικατερίνη Λυκούρη**

Σύμβουλος Α΄ του Ινστιτούτου Εκπαιδευτικής Πολιτικής

**«Με τη συγχρηματοδότηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης»  
και το Πρόγραμμα «Ανθρώπινο Δυναμικό και Κοινωνική Συνοχή»**

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

Ζαφειριάδης Φώτιος  
Λέτης Σταύρος  
Οικονομίδης Σαράντος  
Πανταζής Γεώργιος  
Πεφάνης Παναγιώτης  
Πολάτογλου Χαρίτων  
Σωτηροπούλου Άννα

# ΦΥΣΙΚΗ

## Γ' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ



ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΔΟΣΕΩΝ «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»

## Στοιχεία Συγγραφής

### ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ

#### Ζαφειριάδης Φώτιος

Εκπαιδευτικός Δ/θμιας Εκ/σης

#### Λέτης Σταύρος

Εκπαιδευτικός Ιδιωτικής Δ/θμιας Εκ/σης

#### Οικονομίδης Σαράντος

PhD, MSc, Σύμβουλος Εκπαίδευσης

#### Πανταζής Γεώργιος

PhD, Εκπαιδευτικός Δ/θμιας Εκ/σης, Διευθυντής Γ.Ε.Λ.

#### Πεφάνης Παναγιώτης

PhD, MSc, Σύμβουλος Εκπαίδευσης

#### Πολάτογλου Χαρίτων

Ομότιμος Καθηγητής, Τμήμα Φυσικής, Α.Π.Θ.

#### Σωτηροπούλου Άννα

PhD, Εκπαιδευτικός Δ/θμιας Εκ/σης, Υπεύθυνη Ε.Κ.Φ.Ε.

### ΤΥΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ

#### Δημήτρης Καλλιάρης

### ΣΕΛΙΔΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΕΞΩΦΥΛΛΟΥ

#### Ιωάννα Ζουρμπάκη Μούσμαν Αλέξανδρος Γιαννακούλιας

## ΘΕΜΑΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ: ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ

### Κεφάλαιο 1 – Ηλεκτρισμός

1.1 Ηλεκτρικό φορτίο – Ηλεκτρικές αλληλεπιδράσεις .....	8
1.2 Συσσώρευση – Μεταφορά ηλεκτρικού φορτίου .....	22
1.3 Ηλεκτρικό πεδίο – Διαφορά δυναμικού .....	39
1.4 Ηλεκτρικό ρεύμα .....	55
1.5 Ηλεκτρική αντίσταση Νόμος του Ohm .....	69
1.6 Μελέτη ηλεκτρικών κυκλωμάτων και εφαρμογή των αρχών διατήρησης – Σύνδεση αντιστάσεων .....	84
1.7 Βραχυκύκλωμα – Ασφάλειες .....	94
1.8 Ηλεκτρική ενέργεια και ισχύς .....	101

### Κεφάλαιο 2 - Ηλεκτρομαγνητισμός

2.1 Μαγνήτες – Μαγνητικό Πεδίο της Γης .....	114
2.2 Από τον ηλεκτρισμό στον μαγνητισμό .....	125
2.3 Από τον μαγνητισμό στον ηλεκτρισμό – Νόμος Faraday – Ηλεκτρομαγνητική Επαγωγή .....	135

## ΘΕΜΑΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ: ΠΕΔΙΑ ΚΑΙ ΚΥΜΑΤΑ - ΦΩΣ

### Κεφάλαιο 3 - Φως

3.1 Φύση και διάδοση του φωτός .....	145
3.2 Διάθλαση και εφαρμογές .....	163
3.3 Ηλεκτρομαγνητικά κύματα και φως .....	188

## ΘΕΜΑΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ: ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΦΥΣΙΚΗ - ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

### Κεφάλαιο 4 - Επιλεγμένα θέματα Σύγχρονης Φυσικής

4.1 Δομή του πυρήνα του ατόμου – Πυρηνική ενέργεια – Σύντηξη – Σχάση – Ραδιενέργεια .....	203
4.2 Στοιχειώδη σωμάτια – Ύλη – Αντιύλη – Το καθιερωμένο πρότυπο .....	217
4.3 Στοιχεία κοσμολογίας και σχετικότητα .....	226

Γλωσσάρι.....	244
---------------	-----

Τυπολόγιο.....	247
----------------	-----

Πηγές Εικόνων .....	248
---------------------	-----

Βιβλιογραφία .....	250
--------------------	-----

## Η ταυτότητα του βιβλίου Φυσικής Γ' Γυμνασίου

### Η Φιλοσοφία του βιβλίου

Το βιβλίο αυτό γράφτηκε στηριζόμενο στο πρόγραμμα σπουδών και στην εκπαιδευτική μεθοδολογία η οποία προτείνεται σε αυτό.

Επιδιώκεται να είναι και ένας χώρος εργασίας όπου θα καταγράφεται η μάθηση των μαθητών/τριών.

Εστιάζει στην ενεργό συμμετοχή μέσα από πρακτικές, πειραματικές, ψηφιακές και νοητικές δραστηριότητες, στην καλλιέργεια της κριτικής σκέψης μέσω της κατανόησης των εννοιών και της ερμηνείας των δεδομένων με ορθολογικό τρόπο, καθώς και στη σύνδεση με τις εφαρμογές και τις καθημερινές καταστάσεις.

Με εργαλείο το βιβλίο αυτό, ακολουθείται η εκπαιδευτική επιστημονική μέθοδος με διερεύνηση. Καταγράφονται οι υποθέσεις, οι παρατηρήσεις, οι μετρήσεις και τα δεδομένα που συλλέγονται από τις δραστηριότητες καθώς και η ανάλυσή τους και στο τέλος τα συμπεράσματα. Έτσι εξασφαλίζεται η ενεργός συμμετοχή των μαθητών/τριών, με αποδεικτικό πειραματισμό και βιωματικό τρόπο και διαμορφώνονται οι επιστημονικά ορθές ιδέες τους. Υπάρχει πρόσβαση στην εργασία των μαθητών/τριών και προβληματισμός σχετικά με τη μάθησή τους, καθώς θα δέχονται διαμορφωτική ανατροφοδότηση και αξιολόγηση από τον καθηγητή και τους συμμαθητές τους.

Οι περισσότερες πειραματικές δραστηριότητες πραγματοποιούνται με απλά υλικά και μπορούν να επαναληφθούν από τους μαθητές/τριες και στο σπίτι, με ευκολία και ασφάλεια. Υπάρχει επίσης και βίντεο του πειράματος ή ενδεικτικός πίνακας τιμών. Ακόμα, σε κάποιες πειραματικές δραστηριότητες υπάρχει και η αντίστοιχη ψηφιακή δραστηριότητα (εικονικό εργαστήριο). Οι ψηφιακές διερευνητικές δραστηριότητες είναι πρωτότυπες και δημιουργημένες ώστε να ικανοποιούν ακριβώς τις απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών. Χρησιμοποιήθηκε ένα μόνο εικονικό εργαστήριο από το διαδίκτυο (από το PhET του Πανεπιστημίου του Colorado).




Στο τέλος κάθε ενότητας υπάρχει εννοιολογικός χάρτης.







Με σκοπό την εμπέδωση και την αξιολόγηση ακολουθούν ερωτήσεις, ασκήσεις και προβλήματα ανάλογα με τη θεματική ενότητα.

Στο τέλος κάθε κεφαλαίου υπάρχει σύνοψη μιας σελίδας.

Σε κάθε θεματική ενότητα ακολουθούν τα βήματα της επιστημονικής εκπαιδευτικής μεθόδου με διερεύνηση, που φαίνονται παρακάτω με τα αντίστοιχα σύμβολα.

### Η εκπαιδευτική μεθοδολογία: Επιστημονική εκπαιδευτική μέθοδος με διερεύνηση.

	<b>Έναυσμα του ενδιαφέροντος</b> Κάθε θεματική ενότητα ξεκινά με το έναυσμα του ενδιαφέροντος. Παρατίθενται εικόνες και ερωτήματα για συζήτηση προσανατολισμού και προβληματισμό πάνω στα θέματα που διαπραγματεύεται η θεματική ενότητα. Συνήθως δεν υπάρχει χώρος στο βιβλίο για καταγραφή απαντήσεων στη φάση αυτή. Επίσης, στο βήμα αυτό μπορεί να ορίζονται οι στόχοι, με βάση τα αναμενόμενα αποτελέσματα, τα οποία και αναγράφονται στην αρχή κάθε θεματικής.
	<b>Υποθέσεις</b> Στη συνέχεια τίθενται ερωτήματα, ώστε να διατυπώνονται και να καταγράφονται οι υποθέσεις ή να επιλέγονται από κάποιες προτεινόμενες, οι οποίες εμφανίζονται ως ερωτήσεις παιδιών που δίνουν πιθανές απαντήσεις. Με τον τρόπο αυτό να εντοπίζονται σημαντικές ανάγκες για μάθηση, με βάση τις προηγούμενες γνώσεις και εμπειρίες.
	<b>Δραστηριότητες</b> Ακολουθούν δραστηριότητες οι οποίες μπορεί να είναι πρακτικές, πειραματικές, νοητικές ή και ψηφιακές. Καταγράφονται οι παρατηρήσεις, τα δεδομένα, και η ανάλυση των δεδομένων. Έχει γίνει προσπάθεια οι πρακτικές και οι πειραματικές δραστηριότητες, να είναι εύκολο να γίνουν με ασφάλεια και με απλά υλικά.

	<b>Συμπεράσματα</b> Με τη βοήθεια των παραπάνω προκύπτουν και καταγράφονται τα συμπεράσματα.
	<b>Εμβόλιμη Θεωρία</b> Θεωρία που παρεμβάλλεται για μελέτη και εμπέδωση.
	<b>Διεπιστημονικές – Διαθεματικές Εφαρμογές της Θεωρίας. Γενικεύσεις, Εμπέδωση.</b> Γίνεται σύνδεση της θεωρίας με την καθημερινή ζωή, παρουσιάζονται ιστορικά γεγονότα που αφορούν στη συγκεκριμένη θεματική ενότητα και εξηγούνται «μυστήρια». Στο βήμα αυτό υπάρχουν και ένθετα.
	<b>Ιδιοκατασκευές</b> Κατασκευές με απλά υλικά που μπορούν να γίνουν στο σπίτι ή στο σχολείο.
	<b>Ψηφιακός πόρος</b> Με τη χρήση των συνδέσμων ανοίγουν τα βίντεο των πειραμάτων, οι ψηφιακές δραστηριότητες, οι πίνακες τιμών πειραμάτων, τα ένθετα και οι ψηφιακές δραστηριότητες αξιολόγησης.
	<b>Υλικά δραστηριοτήτων</b> Ο κατάλογος των υλικών που θα χρειαστούν για την πραγματοποίηση των δραστηριοτήτων της θεματικής ενότητας.
	<b>Ένθετο</b> Οι περιοχές με το χρώμα αυτό αποτελούν ένθετα.



Οδηγίες για τον  
εκπαιδευτικό

## 1.1 Ηλεκτρικό φορτίο – Ηλεκτρικές αλληλεπιδράσεις

### Μετά από αυτή την ενότητα θα είσαι σε θέση να:

αναγνωρίζεις τα είδη, τις ιδιότητες των ηλεκτρικών φορτίων και τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις (έλξη – άπωση).

1. αναγνωρίζεις την κβάντωση του ηλεκτρικού φορτίου.
2. περιγράφεις τα σημαντικότερα ατομικά πρότυπα.
3. αναγνωρίζεις για τη συνεχή διαδικασία εξέλιξης της ατομικής θεωρίας από την αρχαιότητα ως τις μέρες μας.



Για τις δραστηριότητες της παραγράφου αυτής θα χρειαστούν:

θήκη CD, διατρητική συσκευή χαρτιού, χαρτί, πλαστικό πώμα μπουκαλιού, καρφί 10 cm, άδειο καψάκι φαρμάκου, 2 ράβδοι φελιζόλ, γυάλινο ποτήρι, ποτήρι από πυρίμαχο γυαλί (ποτήρι ζέσης από το εργαστήριο), γυάλινη ράβδος, ράβδος εβονίτη, χτένα (τύπου ταρταρούγας), πλαστικός χάρακας, στίλο διαρκείας, ύαλος ωρολογίου, λείο πλακίδιο, χαρτόνι ή γλωσσοπίεστρο.



Εικόνα 1.1.1: Ηλεκτροφόρο σαλάχι.

Η **Νάρκη** ή **Τορπίλη** ή **Μουδιάστρα** είναι ένα ηλεκτροφόρο σαλάχι γνωστό από την αρχαιότητα. Με την ένταση της ηλεκτροπληξίας που προκαλεί κατορθώνει να παραλύσει ή να επιφέρει τον θάνατο στο θύμα της.



Εικόνα 1.1.3: Το ήλεκτρο ή κεχριμπάρι έλκει ελαφριά αντικείμενα, όταν το τρίψουμε.

Τρίβοντας ένα μπαλόνι στα μαλλιά και απομακρύνοντάς το λίγο, εμφανίζεται το φαινόμενο της εικόνας 1.1.2.



Εικόνα 1.1.2: Αλληλεπίδραση μπαλονιού και μαλλιών μετά από τρίψιμο.

Τον 7ο αιώνα π.Χ. ο **Θαλής ο Μιλήσιος** ανακάλυψε την ελκτική ιδιότητα του ήλεκτρο. Όταν το έτριβε, μπορούσε να έλκει ελαφρά αντικείμενα, όπως φτερά ή άχυρο. Το ήλεκτρο ή κεχριμπάρι είναι απολιθωμένη ρητίνη δέντρων (ρετσί-νι), ηλικίας 30-90 εκατομμυρίων ετών.

## Ας αναρωτηθούμε

Φουσκώνοντας ένα μπαλόνι (π.χ. μπαλόνι για νερόμπομπες) με αέρα και τρίβοντάς το στα μαλλιά μας, διαπιστώνουμε πως αν το ακουμπήσουμε στον πίνακα της τάξης, στον τοίχο ή σε ένα τζάμι μένει εκεί. Συζήτησε με την ομάδα σου για τη δύναμη που το κρατάει κολλημένο.

Αυτή η δύναμη υπερνικά τη δύναμη της βαρύτητας, για την οποία ευθύνεται ολόκληρη η Γη;

Παρατήρησε τη σφαίρα της φωτογραφίας 1.1.5 και προσπάθησε να δώσεις μία λογική εξήγηση για τις θέσεις που παίρνουν τα μπαλάκια μετά από τρίψιμο.

Τον χειμώνα, ίσως ακούς τριξίματα, όταν βγάζεις το πουλόβερ σου. Αν έχει σκοτάδι, ίσως βλέπεις και μικρούς σπινθήρες. Αντίθετα, όταν ντύνεσαι, δεν εμφανίζεται το ίδιο φαινόμενο.

Συμπλήρωσε ένα **✓** σε αυτά που θεωρείς σωστά στον πίνακα 1.1.1.

Πίνακας 1.1.1								
Τριξίματα και μικροί σπινθήρες στο πουλόβερ								
Είναι φαινόμενο	ηλεκτρικό	<input type="checkbox"/>	μαγνητικό	<input type="checkbox"/>	θερμικό	<input type="checkbox"/>	βαρυτικό	<input type="checkbox"/>
Ποια διαδικασία το προκαλεί;	Η τριβή με τα υπόλοιπα ρούχα που φοράμε							<input type="checkbox"/>
	Η υγρασία του αέρα και ο ιδρώτας του σώματος							<input type="checkbox"/>
	Η θερμότητα του σώματος							<input type="checkbox"/>



Εικόνα 1.1.4: Μπαλόνια στον πίνακα της τάξης.



Εικόνα 1.1.5: Τρίβοντας μια σφαίρα με μαπαλίτσες φελιζόλ παρατηρούμε τις κινήσεις τους.

## Απλά, αλλά εντυπωσιακά, ηλεκτρικά φαινόμενα

### Πρακτική δραστηριότητα:



Πώς θα κινηθούν τα χαρτάκια των εικόνων 1.1.6 και 1.1.7 μετά το τρίψιμο με χαρτί κουζίνας;

.....  
.....



Κόψε με διατηρητική συσκευή χαρτιού μερικά χαρτάκια. Αφαίρεσε τις ετικέτες από μια θήκη CD και βάλε μέσα τα χαρτάκια. Τρίψε τη θήκη με μάλλινο ύφασμα ή χαρτί κουζίνας. Τι παρατηρείς;

.....  
.....

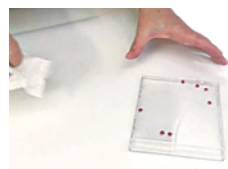


Τα χαρτάκια κινούνται γιατί .....

.....



Εικόνα 1.1.6: Εικόνα από το βίντεο.



Εικόνα 1.1.7: Τρίβοντας μια θήκη CD με χαρτάκια.



Παρακολούθησε το βίντεο 1.1.1



Βίντεο 1.1.1: Οι ακανόνιστες κινήσεις που κάνουν οι φιγούρες όταν τρίβεις το πλαστικό κουτί.

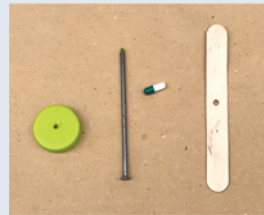


### ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ - ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΦΟΡΤΙΟΥ

Ο William Gilbert (Γουίλιαμ Γκίλμπερτ), γύρω στο 1600, κατασκεύασε έναν ανιχνευτή ηλεκτρισμένων σωμάτων, όπως αυτόν της εικόνας 1.1.8 και επανέλαβε το πείραμα του Θαλή με περισσότερα υλικά. Επίσης, για πρώτη φορά χρησιμοποίησε τον όρο «ηλεκτρικός».

#### Η κατασκευή:

Κάρφωσε ένα καρφί σε ένα πλαστικό πώμα. Ισορρόπησε σε αυτό το γλωσσοπίεστρο (ή κόψε ένα όμοιο σχήμα από χαρτόνι συσκευασίας). Περιστρέφεται εύκολα αν στο σημείο που ακουμπάει στο καρφί τοποθετήσεις μια άδεια κάψουλα. Στη διπλανή εικόνα φαίνεται η κατασκευή. Αν πλησιάσεις στον χάρτινο δείκτη - ανιχνευτή ένα ηλεκτρισμένο σώμα, τότε αυτός θα κινηθεί προς το σώμα. Αν το σώμα δεν είναι ηλεκτρισμένο, ο δείκτης παραμένει ακίνητος στη θέση του.



Εικόνα 1.1.8: Σχηματικές οδηγίες κατασκευής, υλικά και το αποτέλεσμα.

## Διάκριση ηλεκτρικής και μαγνητικής δύναμης

### Πρακτική δραστηριότητα



Είναι ο μαγνήτης ηλεκτρισμένο σώμα;

.....



**Παρατήρησε** την αλληλεπίδραση μεταξύ ενός μαγνήτη και ενός καρφιού.

**Πλησίασε** τον μαγνήτη στον ανιχνευτή ηλεκτρισμένων σωμάτων.

Υπάρχει αλληλεπίδραση;

.....



Ο μαγνήτης.....ηλεκτρισμένο σώμα.

## Ηλέκτριση σωμάτων

### Πειραματική δραστηριότητα:



Παρουσιάζει διαφορά ένα σώμα που έχεις τρίψει με χαρτί κουζίνας, με ένα ίδιο που δεν το έχεις τρίψει; Επίλεξε την απάντησή σου.



**Πλησίασε στον ανιχνευτή** τα υλικά του πίνακα 1.1.2, ένα-ένα κάθε φορά, χωρίς να ακουμπούν πάνω του. Επανάλαβε το ίδιο, αφού τα τρίψεις με χαρτί κουζίνας.



**Σημείωσε** στον πίνακα την αλληλεπίδραση του ανιχνευτή με τα υλικά, σε κάθε περίπτωση, βάζοντας **ΝΑΙ** αν υπάρχει αλληλεπίδραση και **ΟΧΙ** αν δεν υπάρχει.

*Σημείωση: τα υλικά πρέπει να είναι απαλλαγμένα από σκόνη και υγρασία.*

Πίνακας 1.1.2		
Αλληλεπίδραση υλικών με τον ανιχνευτή ηλεκτρισμένων σωμάτων		
Υλικά	Χωρίς τριβή	Με τριβή
2 ράβδοι φελιζόλ		
Γυάλινο ποτήρι		
Θήκη CD		
Ποτήρι από πυρίμαχο γυαλί (ποτήρι ζέσης από το εργαστήριο)		
Γυάλινη ράβδος		
Ράβδος εβονίτη		
Χτένα (τύπου ταρταρούγας)		
Πλαστικός χάρακας		
Στιλό διαρκείας		



Εικόνα 1.1.9: Ο ανιχνευτής ηλεκτρισμένων σωμάτων.



Βίντεο 1.1.2: Πείραμα ανιχνεύσης ηλεκτρισμένων σωμάτων.



Όταν τριφτούν τα υλικά με χαρτί κουζίνας ....., όπως δείχνει ο ανιχνευτής, και αλληλεπιδρούν μαζί του από απόσταση.



Όταν τρίβουμε τα υλικά, εμφανίζονται μια ιδιότητα που την ονομάζουμε **ηλεκτρικό φορτίο** και εξαιτίας της ιδιότητας αυτής ο χάρτινος ανιχνευτής αλληλεπιδρά με τα υλικά.

Το φορτίο είναι μονόμετρο φυσικό μέγεθος και η μονάδα του στο διεθνές σύστημα είναι το **1C** (Coulomb). Όμως το 1C είναι μια πολύ μεγάλη μονάδα. Στην πράξη τα ηλεκτρισμένα σώματα αποκτούν φορτίο πολύ μικρότερο από 1C, οπότε χρησιμοποιούμε υποπολλαπλάσιά του, όπως:  $1\mu\text{C} = 10^{-6}\text{C}$  ή  $1\text{nC} = 10^{-9}\text{C}$ .

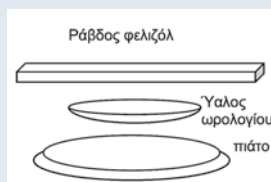
## Τα είδη των φορτίων



### Κατασκευή περιστροφικής βάσης για τον έλεγχο της αλληλεπίδρασης ηλεκτρισμένων σωμάτων.

Πάνω σε λείο πλακάκι (ή πιάτο ή γυαλί) τοποθέτησε μία ύαλο ωρολογίου από το εργαστήριο του σχολείου. Περιστρέφεται πολύ εύκολα, αρκεί να προσέξεις να ισοροπήσει σωστά το αντικείμενο που έχεις ακουμπήσει πάνω της.

Στις δραστηριότητες που ακολουθούν θα χρειαστείς τα υλικά που αναφέρονται στον πίνακα 1.1.2, εμπλουτισμένα με δύο ακόμα υλικά της δικής σου επιλογής. Επίσης, για την επιτυχία των δραστηριοτήτων, είναι καλό να φοράς γάντια μίας χρήσης.



Εικόνα 1.1.10: Σχηματικές οδηγίες κατασκευής.




Εικόνα 1.1.11: Η περιστρεφόμενη βάση με τη ράβδο φελιζόλ.

**Πειραματική δραστηριότητα:**


 Ποια είναι η αλληλεπίδραση μεταξύ δύο όμοιων σωμάτων που ηλεκτρίστηκαν με τον ίδιο τρόπο;



 Τρίψε τις δύο ράβδους φελιζόλ με χαρτί κουζίνας. Οι δυο ράβδοι απέκτησαν ίδιο ή διαφορετικό φορτίο;

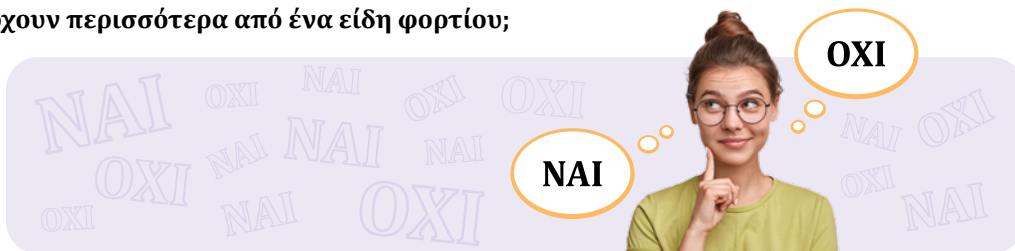
.....  
 .....


Ακούμπησε τη μία ράβδο πάνω στη βάση περιστροφής, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.1.11, και πλησίασε την άλλη ράβδο. Τι παρατηρείς; .....

 Οι δύο ράβδοι φελιζόλ, οι οποίες τρίφτηκαν με τον ίδιο τρόπο, έχουν ..... είδος φορτίου. Αλληλεπιδρούν από απόσταση και .....


**Πρακτική δραστηριότητα:**

 Υπάρχουν περισσότερα από ένα είδη φορτίου;



 Ηλέκτρισε με τριβή μία ράβδο φελιζόλ και ακούμπησέ τη πάνω στη βάση περιστροφής, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.1.11. Πλησίασε το χαρτί με το οποίο την έτριψες.

Τι συμβαίνει τώρα; .....

 Η ράβδος φελιζόλ και το χαρτί δεν συμπεριφέρονται όπως τα σώματα που έχουν ..... είδος φορτίου. Όταν δύο σώματα με ..... είδος φορτίου αλληλεπιδρούν, τότε μεταξύ τους εμφανίζεται .....

**Πειραματική δραστηριότητα ή με τη χρήση του βίντεο 1.1.3.**

 Υπάρχουν περισσότερα από δύο είδη φορτίου;





**Ηλέκτρισε** με τριβή μία ράβδο φελιζόλ και ακούμπησέ τη πάνω στη βάση περιστροφής, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.1.11.

**Τρίψε με χαρτί κουζίνας**, ένα-ένα, τα υλικά του πίνακα 1.1.3, για να φορτιστούν ηλεκτρικά και πλησιάσέ τα στο φελιζόλ στη βάση περιστροφής.

**Συμπλήρωσε** στη στήλη «αλληλεπίδραση με φελιζόλ» το γράμμα **A**, αν παρατηρείς άπωση και το γράμμα **E**, αν παρατηρείς έλξη.

**Επανάλαβε**, τοποθετώντας στην ύαλο ωρολογίου τη χτένα, αφού την τρίψεις. Πλησίασε στη φορτισμένη χτένα τα ηλεκτρισμένα, όπως πριν, υλικά. Συμπλήρωσε στη στήλη «αλληλεπίδραση με χτένα» τα γράμματα **A** και **E**, όπως με το φελιζόλ.

Για την επιτυχία της δραστηριότητας απαιτείται ξηρός καιρός και τα υλικά να είναι απαλλαγμένα από σκόνη. Αν δεν είναι δυνατή η διεξαγωγή του πειράματος, προτείνεται η χρήση του βίντεο 1.1.3 από τους μαθητές.

Πίνακας 1.1.3		
Αλληλεπίδραση υλικών με τον ανιχνευτή ηλεκτρισμένων σωμάτων		
Υλικά	Αλληλεπίδραση με ηλεκτρισμένο φελιζόλ	Αλληλεπίδραση με ηλεκτρισμένη χτένα
Θήκη CD		
Στιλό		
Γυάλινο ποτήρι		
Χάρακας		
Γυάλινη ράβδος		
Χτένα		
Ράβδος εβονίτη		
Ποτήρι από πυρίμαχο γυαλί		



Βίντεο 1.1.3: Πείραμα αλληλεπίδρασης σωμάτων μετά από τριβή



Τα υλικά που αποκτούν, λόγω τριβής, ίδιο φορτίο με το φελιζόλ, είναι αυτά που ..... από το φελιζόλ.

Η χτένα ανήκει στα υλικά που αποκτούν ..... φορτίο από το φελιζόλ.

Τα υλικά που φαίνεται να έχουν το ίδιο φορτίο με τη χτένα είναι αυτά που εμφανίζουν ..... με τη χτένα και ..... με το φελιζόλ.

Υπάρχουν υλικά, απ' αυτά που χρησιμοποίησες, που εμφανίζουν την ίδια αλληλεπίδραση (έλξη ή άπωση) με το ηλεκτρισμένο φελιζόλ και την ηλεκτρισμένη χτένα, δηλαδή στον πίνακα 1.1.3 εμφανίζεται το ίδιο γράμμα και στις 2 στήλες για το υλικό αυτό; .....

Σε πόσες ομάδες μπορούμε να ταξινομήσουμε τα υλικά του πίνακα 1.1.3 σε σχέση με το είδος του φορτίου που απέκτησαν; .....

Γράψε τα μέλη κάθε ομάδας σε πλαίσιο και δώσε όνομα σε κάθε ομάδα.

Όνομα:

Όνομα:



Αντικείμενα φορτισμένα με όμοια ηλεκτρικά φορτία πάντοτε αλληλοαπωθούνται.

Αντικείμενα φορτισμένα με διαφορετικά ηλεκτρικά φορτία πάντοτε έλκονται αμοιβαία. Όσα πειράματα κι αν έχουν γίνει, δεν έχει βρεθεί τρίτο είδος φορτίου!

Συνδύασε τα συμπεράσματα που έβγαλες, με τα όσα αναφέρονται στην επιστολή του Charles Dufay που ακολουθεί και κατάγραψε τα σχόλιά σου.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**Απόσπασμα από επιστολή του Dufay (Ντυφέ) (1734)**

«...υπάρχουν δύο ηλεκτρισμοί πολύ διαφορετικοί: ονομάζω τον έναν "υαλώδη ηλεκτρισμό" και τον άλλον "ρητινώδη ηλεκτρισμό". Ο πρώτος είναι αυτός του γυαλιού, των κρυστάλλων, των πολύτιμων λίθων, των τριχών, του μαλλιού και πολλών άλλων σωμάτων που έχουν τριφτεί. Ο δεύτερος είναι αυτός του ήλεκτρου, του μεταξιού, του λάστιχου, του χαρτιού και ενός μεγάλου αριθμού υλικών που έχουν τριφτεί. Χαρακτηριστικό των δύο ηλεκτρισμών είναι ότι ένα σώμα, ας πούμε, υαλώδους ηλεκτρισμού, απωθεί όλα τα σώματα ίδιου ηλεκτρισμού, ενώ, αντίθετα, έλκει όλα εκείνα του ρητινώδους ηλεκτρισμού.»

**Η διατήρηση του φορτίου**

**Ψηφιακή δραστηριότητα:**



Επίλεξε μια βολική ονομασία για τα ηλεκτρικά φορτία:



Χρησιμοποίησε τη διπλανή προσομοίωση για τη μετακίνηση φορτίων ανάμεσα στο χαρτί κουζίνας και τη ράβδο από φελιζόλ.



Προσομοίωση μετακίνησης φορτίων






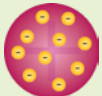

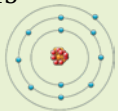

Συμπλήρωσε τα κενά με τις λέξεις-φράσεις που ακολουθούν στο κατάλληλο γένος, αριθμό και πτώση: **ηλεκτρικά ουδέτερος, θετικά φορτισμένος, αρνητικά φορτισμένος, μηδέν, αρνητικά φορτία, θετικά φορτία.**

Στις παραπάνω εικόνες, η ράβδος και το χαρτί ήταν αρχικά ..... γιατί το συνολικό φορτίο καθενός ήταν ..... Κατά τη διάρκεια του τριψίματος ..... , πήγαν από το χαρτί στη ράβδο. Τελικά, η ράβδος έγινε ..... και το χαρτί ..... Ας προσέξουμε ότι τα ..... δεν μετακινούνται!



Για να μπορεί μέσα στα υλικά αντικείμενα να γίνεται μια τέτοια μετακίνηση φορτίων, θα πρέπει τα φορτία αυτά να προϋπάρχουν στα αντικείμενα και μάλιστα αν είναι σε ίσες ποσότητες, το συνολικό φορτίο να είναι μηδέν.

## Ταξίδι στον χρόνο, από την αρχαία Ελλάδα ως σήμερα

<p>5ος αιώνας π.Χ.</p> 	<p>Οι αρχαίοι Έλληνες φιλόσοφοι Λεύκιππος και Δημόκριτος για να απαντήσουν στο ερώτημα «Ποια είναι τα συστατικά της ύλης» υποστηρίζουν ότι η ύλη αποτελείται από πολύ μικρά σωματίδια, τα οποία δεν διαιρούνται σε μικρότερα και τα ονόμασαν <b>άτομα</b>. Η ιδέα της ατομικής θεωρίας γεννιέται.</p>
<p>4ος αιώνας π.Χ.</p> 	<p>Η ιδέα του ατόμου καταπολεμάται από τον Πλάτωνα και τον Αριστοτέλη, οι οποίοι θεωρούν ότι τα μικρά σωματίδια της ύλης μπορούν να διαιρούνται σε οσαδήποτε μικρά μέρη (θεωρία της συνεχούς ύλης). Οι ιδέες τους επικρατούν και το άτομο παραμένει στο περιθώριο για 1800 χρόνια!</p>
<p>19ος αιώνας μ.Χ.</p> 	<p>Ο John Dalton (Τζον Ντάλτον) επαναφέρει την ατομική θεωρία των αρχαίων Ελλήνων φιλοσόφων και περιγράφει τα άτομα ως συμπαγή και αδιαίρετα. Έτσι εξηγεί τους νόμους της Χημείας που ανακάλυψε πειραματικά.</p>
<p>1898</p> 	<p>Ο Joseph John Thomson (Τζόσεφ Τζον Τόμσον) ανακαλύπτει το πρώτο συστατικό του ατόμου, ένα εκπληκτικά μικρό σωματίδιο με αρνητικό φορτίο. Το ονομάζει ηλεκτρόνιο. Επειδή, όμως, η ύλη εμφανίζεται ηλεκτρικά ουδέτερη, συμπεραίνει ότι μέσα στο άτομο υπάρχει και ίση ποσότητα θετικού φορτίου. Προτείνει μια νέα εικόνα για το άτομο με μορφή σταφιδόψωμου.</p>
<p>1911</p> 	<p>Ο Ernest Rutherford (Έρνεστ Ράδερφορντ), με ένα πείραμα που εικονίζεται στο διπλανό σχήμα, ανακαλύπτει τον πυρήνα του ατόμου, μια μικρή περιοχή στο κέντρο, με σχεδόν όλη τη μάζα του ατόμου και θετικό φορτίο. Το εκπληκτικό συμπέρασμα είναι ότι, <i>αν ο πυρήνας έχει μέγεθος μπάλας του τένις, τα μικροσκοπικά ηλεκτρόνια περιφέρονται ενάμισι χιλιόμετρο μακριά</i>. Εντυπωσιακό είναι ότι ο μεγαλύτερος χώρος του ατόμου είναι κενός.</p>
<p>1913</p> 	<p>Ο Niels Bohr (Νιλς Μπορ) συμπληρώνει το πρότυπο του Rutherford, διατυπώνοντας την άποψη ότι το άτομο αποτελείται από έναν συμπαγή πυρήνα γύρω από τον οποίο κινούνται τα αμελητέας μάζας ηλεκτρόνια, σε καθορισμένες τροχιές.</p>
<p>1927 ως σήμερα</p> 	<p>Διατυπώνεται η σύγχρονη θεωρία για τη δομή του ατόμου, που βασίζεται στην Κβαντομηχανική και μας δίνει μια βελτιωμένη εικόνα για το άτομο. Ο χώρος δεν είναι κενός – τα ηλεκτρόνια είναι παντού! Η θέση των ηλεκτρονίων δεν μπορεί να εντοπιστεί με ακρίβεια, αλλά μπορεί να δοθεί μόνο η πιθανότητα να βρίσκονται σε συγκεκριμένη περιοχή του χώρου.</p>

## Η δομή του ατόμου

Σήμερα γνωρίζουμε ότι:

1. Τα άτομα αποτελούνται από έναν **πυρήνα θετικά φορτισμένο** και γύρω από τον πυρήνα περιφέρονται τα μικροσκοπικά **ηλεκτρόνια** που είναι **αρνητικά φορτισμένα**. Έτσι ο πυρήνας έλκει τα ηλεκτρόνια.
2. Τα ηλεκτρόνια είναι όμοια μεταξύ τους. Έχουν την ίδια μάζα και το ίδιο φορτίο.



Ταξίδι στον χρόνο

3. Ο πυρήνας αποτελείται από **πρωτόνια** και **νετρόνια**. Τα πρωτόνια έχουν θετικό φορτίο, ενώ τα νετρόνια δεν έχουν φορτίο (λέμε ότι είναι ηλεκτρικά ουδέτερα). Συγκρατούνται, όμως, τόσο κοντά μεταξύ τους με ισχυρότατες πυρηνικές δυνάμεις.
4. Όπως ακριβώς και τα ηλεκτρόνια, έτσι και τα πρωτόνια είναι πανομοιότυπα μεταξύ τους. Φυσικά το ίδιο ισχύει και για τα νετρόνια.
5. Το πρωτόνιο και το ηλεκτρόνιο έχουν αντίθετα φορτία, **ακριβώς του ίδιου μεγέθους**,  $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ . Μάλιστα τα φορτία του πρωτονίου και του ηλεκτρονίου είναι **τα μικρότερα φορτία** που έχουμε παρατηρήσει ελεύθερα στη φύση.
6. Το πρωτόνιο και το νετρόνιο έχουν παρόμοια μάζα, η οποία είναι 1.836 φορές μεγαλύτερη από του ηλεκτρονίου.
7. Ο αριθμός των πρωτονίων ενός ατόμου είναι ίσος με τον αριθμό των ηλεκτρονίων.



Δημιούργησε άτομα με την προσομοίωση



Σύμφωνα με το παραπάνω κείμενο:

Το συνολικό φορτίο του ατόμου είναι .....

Αν από ένα άτομο λείπει ένα ηλεκτρόνιο, έχει ..... φορτίο.

Αν ένα άτομο έχει ένα παραπάνω ηλεκτρόνιο, έχει ..... φορτίο.

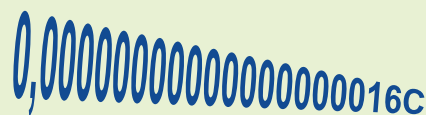
Το μικρότερο φορτίο που μπορεί να μετακινηθεί από ένα σώμα σε ένα άλλο είναι το φορτίο του .....

Τρίβοντας το φελιζόλ με μάλλινο ύφασμα, μεταφέρονται ηλεκτρόνια από το ύφασμα στο φελιζόλ. Έτσι το φελιζόλ αποκτά ..... φορτίο, ενώ το μάλλινο ύφασμα αποκτά ..... φορτίο.



## Κβάντωση του ηλεκτρικού φορτίου

- Ένα ουδέτερο σώμα έχει τον ίδιο αριθμό πρωτονίων και ηλεκτρονίων.
- Φορτίζεται αν χάσει ή προσλάβει ηλεκτρόνια.
- Το φορτίο κάθε ηλεκτρισμένου σώματος (θετικού ή αρνητικού) είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του φορτίου του ηλεκτρονίου, το οποίο ονομάζεται **στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο**.



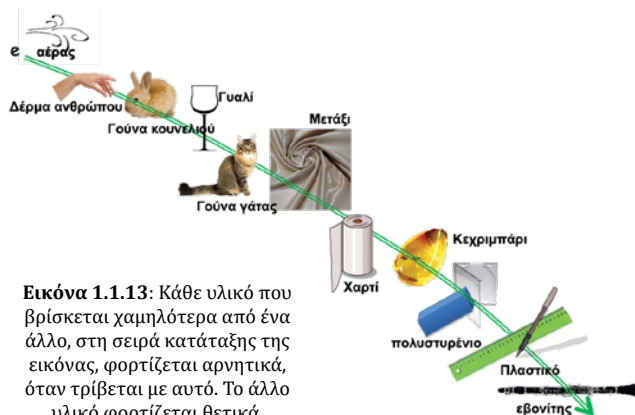
Εικόνα 1.1.12: Η τιμή του στοιχειώδους ηλεκτρικού φορτίου.



Στην εικόνα 1.1.13 φαίνεται πώς φορτίζονται τα υλικά όταν τρίβονται μεταξύ τους. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **τριβοηλεκτρικό φαινόμενο** (triboelectric effect).

Έτσι μπορεί να εξηγηθεί τι συμβαίνει όταν τρίβονται τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στις δραστηριότητες της ηλεκτρίσης με χαρτί ως εξής:

.....  
 .....  
 .....  
 .....



Εικόνα 1.1.13: Κάθε υλικό που βρίσκεται χαμηλότερα από ένα άλλο, στη σειρά κατάταξης της εικόνας, φορτίζεται αρνητικά, όταν τρίβεται με αυτό. Το άλλο υλικό φορτίζεται θετικά.



## Διεπιστημονικές – Διαθεματικές Εφαρμογές της Θεωρίας, Γενίκευση, Εμπέδωση, Ερμηνείες με τον μικρόκοσμο

### 1. Benjamin Franklin (Βενιαμίν Φραγκλίνος)

Ήταν ο πρώτος που εισήγαγε την ιδέα του θετικού και του αρνητικού ηλεκτρικού φορτίου.

Πληροφορίες για τη ζωή και τις μελέτες του μπορείς να βρεις στον διπλανό σύνδεσμο.



B. Franklin. Η ζωή και οι μελέτες του.



Εικόνα 1.1.14: Benjamin Franklin.

### 2. Robert A. Millikan (Ρόμπερτ Α. Μίλλικαν)

Το 1908 είχε ήδη ανακαλυφθεί ο λόγος του φορτίου προς τη μάζα του ηλεκτρονίου. Αν μπορούσε να μετρηθεί είτε η μάζα είτε το φορτίο, τότε το άλλο θα μπορούσε να υπολογιστεί.

Ο καθηγητής R.A. Millikan του Πανεπιστημίου του Σικάγο και ο φοιτητής του H. Flecher επινόησαν το πείραμα για τη μέτρηση του φορτίου του ηλεκτρονίου. Ο Millikan μάλιστα τιμήθηκε για αυτό με το βραβείο Νόμπελ 1923.

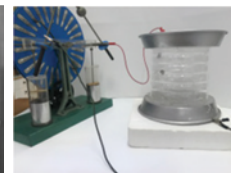
Στο πείραμά του, μικροσκοπικές σταγόνες λαδιού ισορροπούν, αν και έλκονται από τη βαρύτητα της Γης, ανάμεσα σε δύο μεταλλικές πλάκες.

Επαναλαμβάνοντας το πείραμα για πολλές σταγόνες, έδειξε ότι το αποτέλεσμα ήταν πάντα ακέραιο πολλαπλάσιο μιας τιμής, η οποία είναι η τιμή του φορτίου ενός και μόνο ηλεκτρονίου.

Η ομορφιά του πειράματος είναι τόσο ο προσδιορισμός του στοιχειώδους ηλεκτρικού φορτίου όσο και η απόδειξη ότι το φορτίο είναι πράγματι κβαντισμένο.



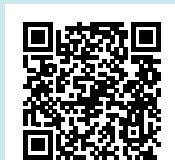
Εικόνα 1.1.16: Η συσκευή που κατασκεύασε ο Millikan.



Εικόνα 1.1.17: Εικόνα από το βίντεο 1.1.4.



Βίντεο 1.1.4: Αναπαράσταση του πειράματος του Millikan με απλά υλικά και όργανα του εργαστηρίου.



Πώς βάφουμε ένα αυτοκίνητο;



Εννοιολογικός Χάρτης



Ενότητας 1.1

**Ερωτήσεις**

1. Αντιστοίχισε τις φράσεις της στήλης Α με αυτές της στήλης Β. Είναι δυνατόν σε μια φράση της Β να αντιστοιχούν πάνω από μία φράση της Α.

<b>A</b>	<b>B</b>
Ηλεκτρισμός Μαγνητισμός Βαρύτητα	Έλξη Έλξη και Άπωση

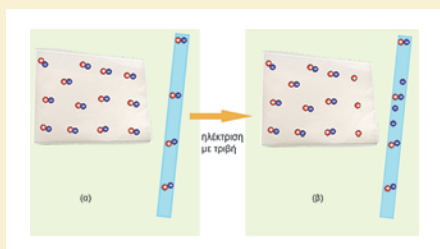
2. Χαρακτήρισε καθεμιά από τις προτάσεις που ακολουθούν ως σωστή (Σ) ή λανθασμένη (Λ).

- i. Οι ηλεκτρικές αλληλεπιδράσεις είναι πάντοτε ελκτικές.
- ii. Οι ηλεκτρικές αλληλεπιδράσεις ασκούνται από απόσταση.
- iii. Μπορούμε να ελέγξουμε αν ένα σώμα είναι ηλεκτρισμένο, χρησιμοποιώντας έναν μαγνήτη.
- iv. Η δύναμη που ασκείται μεταξύ δύο μαγνητών δεν είναι ηλεκτρική.

3. Τι από τα παρακάτω συμβαίνει αν τρίψεις δύο όμοιες ράβδους από φελιζόλ με χαρτί κουζίνας;

- i. Το ένα φορτίζεται θετικά και το άλλο αρνητικά.
- ii. Μαγνητίζονται.
- iii. Φορτίζονται με ίδια φορτία.
- iv. Δεν φορτίζονται.

4. Στην εικόνα (α) παρουσιάζεται ένα κομμάτι από χαρτί κουζίνας και μια ράβδος από φελιζόλ που είναι ηλεκτρικά ουδέτερα. Να συμπληρώσεις τις λέξεις που λείπουν από το παρακάτω κείμενο έτσι ώστε οι προτάσεις που προκύπτουν για την εικόνα (β) να είναι επιστημονικά ορθές:



Όταν τρίβουμε τη ράβδο φελιζόλ στο χαρτί κουζίνας:

Μετακινούνται ..... φορτία από το χαρτί στη .....  
 Το χαρτί φορτίζεται ..... και η ράβδος φορτίζεται .....

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

Αν τρίψουμε ένα στίλο με χαρτί κουζίνας, αποκόττα την ιδιότητα να ..... μικρά κομμάτια χαρτιού. Το φαινόμενο αυτό είναι ..... φύσης και συμβαίνει σε πολλά υλικά όταν τα τρίψουμε. Όμως, κάποια υλικά ....., μεταξύ τους μετά την τριβή και κάποια ..... Αυτά που ....., έχουν αποκτήσει ίδιο είδος ..... Αυτά που ..... έχουν αποκτήσει διαφορετικό είδος .....

6. Τι από τα παρακάτω ισχύει στο σώμα σου;

- i. Υπάρχουν μόνο θετικά φορτία.
- ii. Υπάρχουν μόνο αρνητικά φορτία.
- iii. Υπάρχουν περισσότερα θετικά παρά αρνητικά φορτία.
- iv. Υπάρχουν ίσα θετικά και αρνητικά φορτία.

7. Τι από τα παρακάτω συμβαίνει αν τρίψεις ένα γυάλινο ποτήρι με χαρτί κουζίνας;

- i. Μόνο το ποτήρι φορτίζεται.
- ii. Μόνο το χαρτί κουζίνας φορτίζεται.
- iii. Φορτίζονται και τα δύο με ίσα και αντίθετα φορτία.
- iv. Δεν φορτίζεται κανένα γιατί αποκτούν ίσα και αντίθετα φορτία.

8. Βρες τις σωστές και τις λανθασμένες προτάσεις.



Άσκηση για τις ηλεκτρικές αλληλεπιδράσεις

9. Να χαρακτηρίσεις καθεμιά από τις προτάσεις που ακολουθούν ως σωστή (Σ) ή λανθασμένη (Λ).

- i. Το άτομο αποτελείται από πρωτόνια, νετρόνια και ηλεκτρόνια.
- ii. Ο αριθμός των νετρονίων και των ηλεκτρονίων σε ένα άτομο είναι ίσος.
- iii. Το πρωτόνιο είναι περίπου 1.800 φορές μικρότερο από το ηλεκτρόνιο.
- iv. Ο μεγαλύτερος χώρος του ατόμου είναι κενός.

10. Να συμπληρώσεις τις λέξεις που λείπουν από το παρακάτω κείμενο έτσι ώστε οι προτάσεις που προκύπτουν να είναι επιστημονικά ορθές:

Στη φύση εμφανίζονται δύο είδη ηλεκτρικών φορτίων: το ..... και το ..... Το μικρότερο αρνητικό φορτίο είναι το φορτίο του ..... ενώ το μικρότερο θετικό φορτίο είναι το φορτίο του ..... Το ηλεκτρικό φορτίο κάθε φορτισμένου σώματος είναι ακέραιο ..... του φορτίου του ..... (ή του .....). Η ιδιότητα αυτή ονομάζεται .....

11. Αντιστοίχισε τις φράσεις της στήλης Α με αυτές της στήλης Β. Σε κάθε φράση της Α αντιστοιχεί μόνο μία της Β.

**A**

Πρωτόνιο  
Ηλεκτρόνιο  
Άτομο  
Θετική φόρτιση  
Αρνητική φόρτιση

**B**

Ηλεκτρικά ουδέτερο  
Έλλειμμα ηλεκτρονίων  
Περίσσεια ηλεκτρονίων  
Ελάχιστο θετικό φορτίο  
Ελάχιστο αρνητικό φορτίο  
Ηλεκτρικό φορτίο

12. Έλεγξε τις γνώσεις σου.



Φορτισμένη ερώτηση

13. Μια γυάλινη ράβδος τρίβεται με μάλλινο ύφασμα. Με τη βοήθεια της εικόνας 1.1.13, συμπλήρωσε τα κενά με κατάλληλες λέξεις ώστε να προκύπτει ορθό επιστημονικά νόημα:

Η ράβδος και το μάλλινο ύφασμα ήταν αρχικά ..... , γιατί το συνολικό φορτίο καθενός ήταν ..... Κατά τη διάρκεια του τριψίματος, ..... μετακινήθηκαν από τη γυάλινη ράβδο στο μάλλινο ύφασμα. Τελικά, η ράβδος απέκτησε ..... φορτίο και το ύφασμα ..... . Αυτό έγινε με μετακίνηση ..... γιατί τα ..... παραμένουν στους πυρήνες.

14. Παίξε με τα φορτία στο εσωτερικό του ατόμου στον σύνδεσμο:



Άτομο και φορτίο

**Ασκήσεις**

1. Έλεγξε τις γνώσεις σου για την αλληλεπίδραση μεταξύ φορτίων.



2. Αν τρίψεις δύο σώματα μεταξύ τους είναι δυνατόν να φορτιστούν μόνο αρνητικά ή μόνο θετικά;

.....

.....

.....

3. Τρίβοντας μπαλόνι στα μαλλιά σου θα συμβεί αυτό που βλέπεις στην εικόνα.



Αυτό συμβαίνει γιατί:

- i. από τα μαλλια φεύγουν ηλεκτρόνια και πηγαίνουν στο μπαλόνι,
- ii. από το μπαλόνι φεύγουν πρωτόνια και πηγαίνουν στα μαλλιά,
- iii. από το μπαλόνι φεύγουν στο περιβάλλον πρωτόνια και από τα μαλλιά ηλεκτρόνια.

Διάλεξε την απάντηση που θεωρείς σωστή και εξήγησε το σκεπτικό σου.

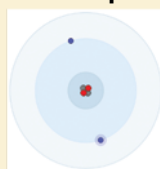
.....

.....

.....

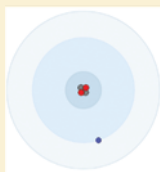
.....

4. Το άτομο της εικόνας έχει 2 πρωτόνια, 2 νετρόνια και 2 ηλεκτρόνια.



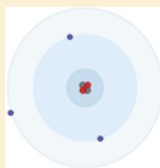
Το φορτίο του ατόμου είναι:

.....



Εάν αφαιρεθεί 1 ηλεκτρόνιο, τότε το φορτίο του ατόμου είναι:

.....



Εάν στο αρχικό άτομο προστεθεί 1 ηλεκτρόνιο, τότε το φορτίο του ατόμου είναι:

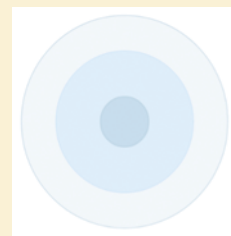
.....

5. Με τη βοήθεια της εικόνας, δημιούργησε ένα άτομο που να έχει στον πυρήνα του 3 πρωτόνια και 4 νετρόνια.

Τοποθέτησε τον κατάλληλο αριθμό ηλεκτρονίων, ώστε το άτομο να είναι ηλεκτρικά ουδέτερο.

Εάν από το άτομο απομακρυνθεί 1 ηλεκτρόνιο, θα αποκτήσει φορτίο .....

Εάν στο αρχικό άτομο προστεθεί 1 ηλεκτρόνιο, θα αποκτήσει φορτίο .....



## Προβλήματα

1. Διαθέτεις πέντε εμφανισιακά όμοιες σφαίρες Α, Β, Γ, Δ και Ε.

Οι σφαίρες Γ και Δ δεν ασκούν δύναμη η μία στην άλλη.

Οι σφαίρες Α και Ε απωθούνται μεταξύ τους.

Όλα τ' άλλα ζευγάρια σφαιρών έλκονται μεταξύ τους.

Σε ποιο από τα παρακάτω ζευγάρια οι σφαίρες έχουν το ίδιο φορτίο;

α. Β και Γ                      δ. Β και Δ

β. Α και Γ                      ε. Γ και Ε

γ. Α και Ε

Σε ποιο από τα παρακάτω ζευγάρια οι σφαίρες έχουν αντίθετο φορτίο;

α. Β και Ε                      δ. Γ και Δ

β. Α και Ε                      ε. Δ και Ε

γ. Α και Γ

2. Τι θα κάνεις για να φορτίσεις μια γάτα θετικά και τι για να τη φορτίσεις αρνητικά;

.....

.....

.....

.....

3. Ο κ. Γιάννης είναι μανιακός με την καθαριότητα. Ξεσκονίζει συνεχώς τα έπιπλα «χαϊδεύοντάς» τα με στεγνό χαρτί κουζίνας. Η σκόνη, όμως, επιστρέφει αμέσως. Μπορείς να του εξηγήσεις τι λάθος κάνει;

.....

.....

.....

.....

4. Όλοι γνωρίζουμε ότι οι σακούλες του σουπερ-μάρκετ ανοίγουν δύσκολα την πρώτη φορά. Αν όμως τις τρίψουμε λίγο με τα χέρια μας, καταφέρνουμε να τις ανοίξουμε. Μπορείς να δώσεις μια εξήγηση;

.....

.....

.....

.....



5. Ζωγραφική στο ποτήρι:

Πάρε ένα ποτήρι κρασιού με λεία επιφάνεια. Βάλε μέσα σε αυτό μικρές μπαλίτσες φελιζόλ (κατάλληλη διάμετρος 1-2 mm) και σκέπασέ το με μεμβράνη τροφίμων. Κλείσ' το και ανακίνησέ το περιστροφικά για να τριφτούν και να φορτιστούν οι μπαλίτσες. Παρατήρησε τη διάταξη στις μπάλες του φελιζόλ και δώσε μία εξήγηση.



.....

.....

.....

.....

.....

## 1.2 Συσσώρευση – Μεταφορά ηλεκτρικού φορτίου



### Μετά από αυτή την ενότητα θα είσαι σε θέση να:

1. διακρίνεις τους τρόπους ηλέκτρισης και να τους ερμηνεύεις μικροσκοπικά.
2. διαπιστώνεις την αρχή διατήρησης ηλεκτρικού φορτίου κατά την ηλέκτριση σωμάτων.
3. συνδέσεις καθημερινά φαινόμενα στατικού ηλεκτρισμού με την παρουσία και μεταφορά ηλεκτρικού φορτίου.
4. διακρίνεις τη διαφορά ανάμεσα στη φόρτιση και στην ηλέκτριση.
5. διακρίνεις τους αγωγούς και τους μονωτές.
6. σχεδιάζεις τις ηλεκτρικές δυνάμεις ανάμεσα στα φορτία.
7. διατυπώνεις τον νόμο του Coulomb και να τον εφαρμόζεις σε απλά προβλήματα αλληλεπίδρασης φορτίων.



Για τις δραστηριότητες της παραγράφου αυτής θα χρειαστούν:

Φελιζόλ, δύο γυάλινα βάζα, μια γυάλινη ράβδος, ένας συνδετήρας, αλουμινόχαρτο, κόλλα στικ.



### Ο Στατικός Ηλεκτρισμός στα σαλόνια και στα πανηγύρια

Στα μέσα του 18ου αιώνα ο Ηλεκτρισμός αφορούσε αποκλειστικά την ψυχαγωγία. Στις κοινωνικές συγκεντρώσεις, στα κοσμικά σαλόνια, αλλά και επί πληρωμή σε κοινό, πραγματοποιούνταν επιδείξεις Ηλεκτρικών Φαινομένων. Έτσι έγιναν προσπάθειες για τη δημιουργία ηλεκτροστατικών μηχανών. Δηλαδή μηχανών που είναι ικανές να παρέχουν μεγάλη ποσότητα ηλεκτρικών φορτίων. Ο Otto von Guericke (Όττο φον Γκέρικε) κατασκεύασε μηχανή τρίβοντας με γάντι περιστρεφόμενη σφαίρα θείου.

Λίγο αργότερα ο George Adams (Τζορτζ Άνταμς) αντικατέστησε τη σφαίρα θείου με γυαλί.

Το 1929 ο Robert Jemison van de Graaff (Ρόμπερτ Τζέμισον βαν ντε Γκράαφ) κατασκεύασε στο Πανεπιστήμιο του Πρίνστον την ομώνυμη μηχανή, με σημαντική ικανότητα παροχής φορτίων.



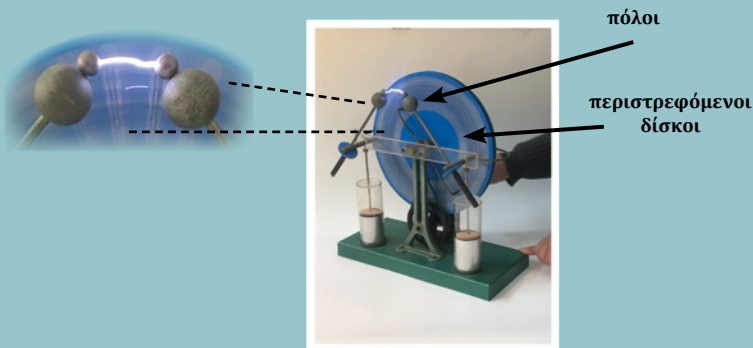
Εικόνα 1.2.1: Ο Otto von Guericke με την ηλεκτροστατική μηχανή του.



Εικόνα 1.2.2: Ηλεκτροστατική μηχανή ελληνικού σχολικού εργαστηρίου των αρχών του 20ού αιώνα.



Εικόνα 1.2.3: Αποτέλεσμα ηλέκτρισης με μηχανή Van der Graaff.



**Εικόνα 1.2.4:** Η μηχανή Wimshurst του σχολικού εργαστηρίου σε λειτουργία. Σε μεγέθυνση ο σπινθήρας που εκσπά μεταξύ των δύο πόλων.

Σήμερα τα σχολεία διαθέτουν ηλεκτροστατική μηχανή, που σχεδίασε ο Άγγλος εφευρέτης James Wimshurst (Τζέιμς Γουίμσχουρστ) στα τέλη του 19ου αιώνα, και η οποία πήρε το όνομά του. Αποτελείται από δύο δίσκους που καθώς περιστρέφονται, με αντίθετη φορά, μεταφέρονται αρνητικά φορτία στον έναν πόλο και θετικά στον άλλο.

## Ας αναρωτηθούμε

Εντόπισε δύο κοινά χαρακτηριστικά των φαινομένων στις εικόνες 1.2.5 και 1.2.6 και δύο διαφορές.



.....

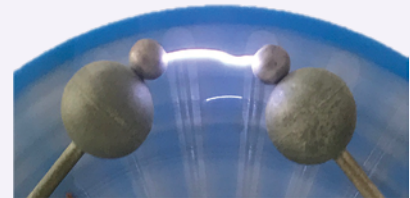
.....

.....

.....

.....

.....



**Εικόνα 1.2.5:** Σπινθήρας από μηχανή Wimshurst.



**Εικόνα 1.2.6:** Αστραπή στην ατμόσφαιρα.

## Κατανομή ηλεκτρικών φορτίων σε επιφάνεια – Φόρτιση με τριβή

### Πρακτική δραστηριότητα:



**Παρακολούθησε το βίντεο και προσπάθησε να δώσεις μία εξήγηση.**

.....

.....

.....



**Διασκέδασε** με τα ζωηρά σφαιρίδια φελιζόλ. Πάρε μια πλάκα φελιζόλ περίπου 20 cm×20 cm και κάνε στο κέντρο μια τρύπα διαμέτρου 3-5 cm (δεν είναι ανάγκη να είναι στρογγυλή). Τρίψε την πλάκα και ρίξε πάνω της 5-6 μπαλίτσες φελιζόλ. Προσπάθησε, σπρώχνοντας με το δάχτυλο, να οδηγήσεις τις μπαλίτσες στην τρύπα.



Τα φορτία που αναπτύσσονται με την ..... στην επιφάνεια του φελιζόλ δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένα. Τα αφόρτιστα μπαλάκια προτιμούν να κάθονται στις θέσεις με το ..... φορτίο.

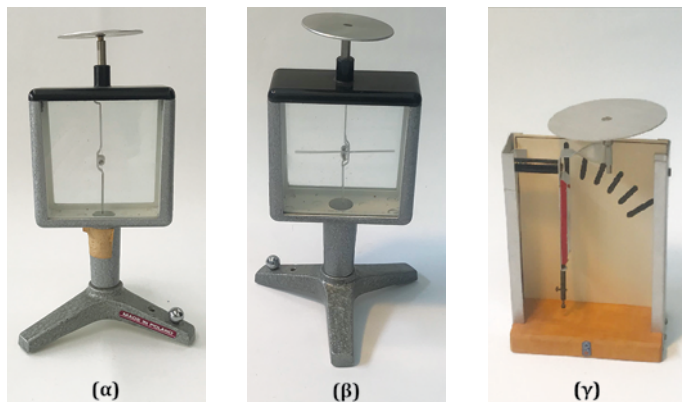


**Βίντεο 1.2.1:** Πεισματάκι μπαλάκι.

Φόρτιση με επαφή – Αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου

Μηχανή ανίχνευσης ηλεκτρικών φορτίων

Το ηλεκτροσκόπιο



Εικόνα 1.2.7: Τα ηλεκτροσκόπια του σχολικού εργαστηρίου: (α) μη ηλεκτρισμένο, (β) ηλεκτρισμένο και (γ) ηλεκτροσκόπιο με κλίμακα.

Το ηλεκτροσκόπιο είναι ένα όργανο που κατασκευάστηκε το 1748 από τον Nollet (Νολέ) για να ανιχνεύει τα ηλεκτρισμένα σώματα.

Αποτελείται από ένα στέλεχος που το άνω άκρο του έχει σχήμα σφαίρας ή δίσκου και κάτω καταλήγει σε δύο μεταλλικά κινητά φύλλα (εικόνα 1.2.7α). Αν το ηλεκτρίσουμε, τα δύο φύλλα αποκτούν όμοιο φορτίο, απωθούνται και αποκλίνουν από την κατακόρυφο (ανοίγουν) (εικόνα 1.2.7β). Η διάταξη είναι προστατευμένη σε διάφανο κουτί.

Μερικά ηλεκτροσκόπια φέρουν κλίμακα ώστε να παρέχουν και μια ποσοτική ένδειξη για το φορτίο (εικόνα 1.2.7γ).



Κατασκευή ηλεκτροσκοπίου

Με τη χρήση γυάλινου βάζου, φελιζόλ, αλουμινόχαρτου, συνδετήρα και κόλλας στικ.

Κόψε ένα κομμάτι φελιζόλ που να εφαρμόζει καλά στο στόμιο του γυάλινου βάζου.

Άνοιξε τη μία πλευρά του συνδετήρα και διαπέρασε το φελιζόλ στο κέντρο του.

Κρέμασε δύο λωρίδες αλουμινόχαρτο, προσέχοντας να μην τσαλακωθούν.

Κόλλα, με κόλλα στικ, στην επάνω επιφάνεια του φελιζόλ, αλουμινόχαρτο.



Εικόνα 1.2.8: Η κατασκευή του ηλεκτροσκοπίου.

OXI

Πρακτική δραστηριότητα:



Μπορείς να μεταφέρεις φορτία από ένα φορτισμένο σώμα σε ένα αφόρτιστο αν τα φέρεις σε επαφή;

ΝΑΙ





**Φόρτισε** με τριβή μια ράβδο φελιζόλ και φέρε την σε επαφή με το αλουμινόχαρτο του ηλεκτροσκοπίου.

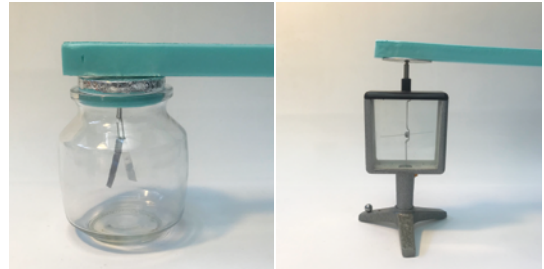
Τα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου .....

**Απομάκρυνε** τη ράβδο.

Τα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου .....



Με τις παραπάνω διαδικασίες φορτίζονται ..... από τη φορτισμένη ράβδο στο αφόρτιστο ηλεκτροσκόπιο, κατά την επαφή τους.



**Εικόνα 1.2.9:** Το ηλεκτροσκόπιο φορτίζεται κατά την επαφή του με τη φορτισμένη ράβδο.



## Φόρτιση με επαφή

Ένα αφόρτιστο σώμα φορτίζεται αν έρθει σε επαφή με ένα φορτισμένο, καθώς φορτία μετακινούνται από το ένα στο άλλο.

Ένα αρνητικά φορτισμένο σώμα έχει περίσσεια ηλεκτρονίων. Αν έρθει σ' επαφή μ' ένα αφόρτιστο, ηλεκτρόνια θα μετακινηθούν από το φορτισμένο στο αφόρτιστο και τα δύο σώματα θα φορτιστούν αρνητικά, γιατί το πλεόνασμα των ηλεκτρονίων θα κατανεμηθεί και στα δύο.

Ένα θετικά φορτισμένο σώμα έχει έλλειμμα ηλεκτρονίων. Αν έρθει σ' επαφή μ' ένα αφόρτιστο σώμα, ηλεκτρόνια θα μετακινηθούν από το αφόρτιστο στο φορτισμένο. Τα σώματα θα φορτιστούν θετικά, καθώς το έλλειμμα των ηλεκτρονίων κατανέμεται και στα δύο.

## Αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου

Τα ηλεκτρόνια δεν παράγονται και δεν καταστρέφονται. Απλά μετακινούνται από ένα σώμα σε ένα άλλο. Ο συνολικός τους αριθμός παραμένει σταθερός με αποτέλεσμα το ολικό φορτίο να διατηρείται σταθερό. Η πρόταση αυτή είναι γνωστή ως **αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου** και αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές αρχές της σύγχρονης Φυσικής.

Κατά την ηλέκτριση με επαφή ενός αφόρτιστου σώματος με ένα φορτισμένο, το άθροισμα των φορτίων που αποκτούν τα δύο σώματα είναι ίσο με το φορτίο που είχε αρχικά το φορτισμένο σώμα, σύμφωνα με την αρχή διατήρησης του φορτίου.

## Αγωγοί και Μονωτές

**Πρακτική δραστηριότητα:**



Τα φορτία μετακινούνται διαμέσου του υλικού των σωμάτων;





**Τρίψε μια ράβδο** φελιζόλ στη μία της άκρη και φέρε την σε επαφή με το αλουμινόχαρτο (ή τον δίσκο) του ηλεκτροσκοπίου.

Τα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου .....

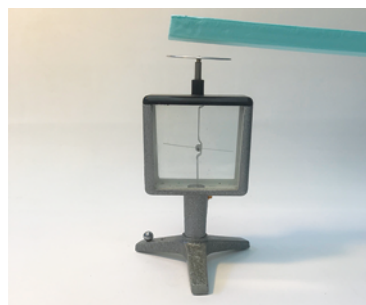
**Απομάκρυνε τη ράβδο.**

**Άγγιξε** με το δάχτυλο **το αλουμινόχαρτο** του ηλεκτροσκοπίου.

Τα φύλλα .....

**Τοποθέτησε** πάνω στο ηλεκτροσκόπιο την άκρη της ράβδου που δεν έτριψες.

Τα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου παραμένουν .....



**Εικόνα 1.2.10:** Το ηλεκτροσκόπιο φορτίζεται μόνο όταν ακουμπήσουμε την άκρη της ράβδου που τρίψαμε.



Τρίβοντας τη μια άκρη της ράβδου, η άκρη αυτή ..... . Όταν ακουμπάει στο αλουμινόχαρτο του ηλεκτροσκοπίου, φορτία από τη ..... περνούν στο αλουμινόχαρτο και από εκεί, μέσω του μεταλλικού συνδετήρα φτάνουν στα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου. Τα φύλλα αποκτούν ..... φορτίο και ..... . Ηλεκτρικά φορτία ..... κατά μήκος του μεταλλικού στελέχους του ηλεκτροσκοπίου. Όταν η ράβδος απομακρύνεται, τα φορτία ..... στα φύλλα και γι' αυτό δεν παρατηρείται καμία αλλαγή.

Όταν αγγίξω το ηλεκτροσκόπιο, τα επιπλέον φορτία του, περνούν μέσα από το σώμα μου και καταλήγουν στη Γη. Παρατηρώ λοιπόν μετακίνηση φορτίων μέσα από το ..... μου.

Όταν ακουμπά στο ηλεκτροσκόπιο η άκρη της ράβδου που δεν έχει τριφτεί, τα φύλλα παραμένουν ....., γιατί τα φορτία της άκρης που τρίφτηκε δεν ..... από τη θέση τους και δεν έφτασαν στην άλλη άκρη.



## Αγωγοί και μονωτές

Υπάρχουν σώματα που επιτρέπουν τη μετακίνηση ηλεκτρικών φορτίων (ηλεκτρονίων) διαμέσου του υλικού τους. Τα σώματα αυτά τα ονομάζουμε **αγωγούς**. Υπάρχουν και σώματα που δεν επιτρέπουν τη μετακίνηση φορτίων διαμέσου του υλικού τους και τα ονομάζουμε **μονωτές**. Τα φορτία στους μονωτές παραμένουν στη θέση όπου εμφανίστηκαν.

**Παραδείγματα αγωγών** είναι τα μέταλλα, ο γραφίτης, τα λιωμένα άλατα, διαλύματα οξέων, βάσεων και αλάτων κ.ά.

**Παραδείγματα μονωτών** είναι το γυαλί, το φελιζόλ και όλα τα πλαστικά, το χαρτί, το μαλλί κ.ά.

ΝΑΙ

ΟΧΙ

## Ηλέκτριση και φόρτιση με επαγωγή

**Πρακτική δραστηριότητα:**



**Μπορείς να ηλεκτρίσεις ένα σώμα πλησιάζοντάς το σε ένα φορτισμένο, χωρίς να τα φέρεις σε επαφή (από απόσταση);**





**Φόρτισε με τριβή μια ράβδο** φελιζόλ και πλησίασέ την στον δίσκο του ηλεκτροσκοπίου, χωρίς όμως να τον αγγίξεις. Τα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου .....

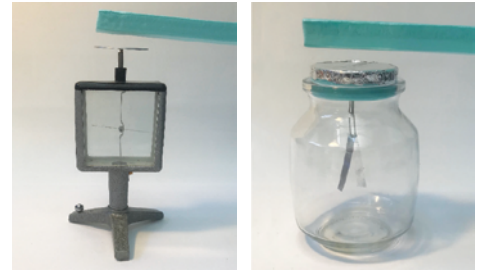
**Απομάκρυνε τη ράβδο.**

Τα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου .....



Το ηλεκτροσκόπιο ..... χωρίς να το αγγίξει η φορτισμένη ράβδος (από απόσταση).

Το ηλεκτροσκόπιο δεν φορτίστηκε, γιατί τα φύλλα του ..... όταν απομακρύνεται η ράβδος.



**Εικόνα 1.2.11:** Τα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου ανοίγουν, χωρίς να έρθουν σε επαφή με τη φορτισμένη ράβδο.

## Ηλέκτριση με επαγωγή

Όταν ένα αρνητικά φορτισμένο σώμα (με περίσσεια ηλεκτρονίων) πλησιάσει τον δίσκο του ηλεκτροσκοπίου, αρνητικά φορτία του αγωγίμου στελέχους απωθούνται και κινούνται προς τα κάτω και πραγματοποιείται διαχωρισμός φορτίων. Το στέλεχος του ηλεκτροσκοπίου στο πάνω άκρο εμφανίζει θετικό φορτίο και αρνητικό κάτω. Τα φύλλα του, έχοντας ίδιο φορτίο, απωθούνται και ανοίγουν.

Το ηλεκτροσκόπιο εμφανίζεται ηλεκτρισμένο με το συνολικό του φορτίο να είναι μηδέν (όσα θετικά φορτία είναι στο πάνω άκρο, τόσα αρνητικά είναι στο κάτω) και συνεπώς δεν είναι φορτισμένο.

Αν απομακρύνουμε το φορτισμένο σώμα, τα θετικά και τα αρνητικά φορτία κατανέμονται ομοιόμορφα και τα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου κλείνουν.

Ηλέκτριση με επαγωγή πραγματοποιείται και σε μονωτές. Κλασικό παράδειγμα είναι το μπαλόνι που «κολλάει» στον πίνακα της τάξης. Ο πίνακας είναι μονωτής και δεν μπορούν να μετακινηθούν φορτία μέσα στο υλικό του.

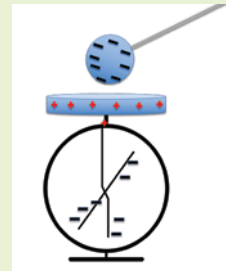
Έχοντας τρίψει το μπαλόνι στα μαλλιά μας, το έχουμε φορτίσει αρνητικά (έχει περίσσεια ηλεκτρονίων). Το αρνητικό φορτίο του μπαλονιού απωθεί τα ηλεκτρόνια των ατόμων της επιφάνειας του πίνακα, ώστε τα ηλεκτρόνιά τους να βρεθούν σε μεγαλύτερη απόσταση από τα αρνητικά φορτία του μπαλονιού, ενώ πλησιέστερα σε αυτό παραμένει το θετικό φορτίο. Τα άτομα παραμορφώνονται ελαφρά και το μπαλόνι έλκεται από τον πίνακα.

Έχουμε λοιπόν μια μετατόπιση αρνητικών φορτίων μέσα στα άτομα της επιφάνειας του πίνακα με το ένα τους άκρο να εμφανίζεται θετικό και το άλλο αρνητικό. Το φαινόμενο ονομάζεται **πόλωση** και τα άτομα **πολωμένα**.

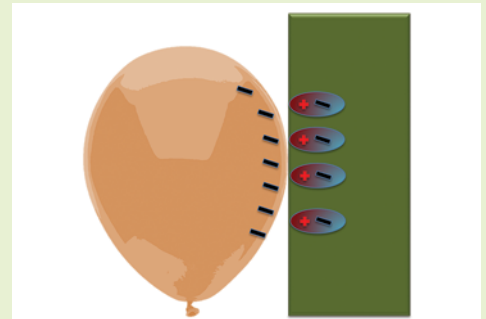
Συνολικά ο πίνακας έχει φορτίο μηδέν. Αν και ηλεκτρισμένος, δεν είναι φορτισμένος. Φυσικά η πόλωση αναιρείται όταν απομακρύνουμε το μπαλόνι.

## Ηλέκτριση και Φόρτιση

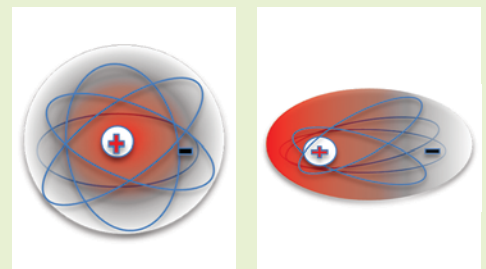
Ένα σώμα είναι ηλεκτρισμένο όταν εμφανίζει ηλεκτρικές ιδιότητες. Μπορεί να εμφανίζει ηλεκτρικές ιδιότητες αν έχει πλεόνασμα ή έλλειμμα ηλεκτρονίων (φόρτιση) ή αν τα φορτία του σώματος δεν κατανέμονται ομοιόμορφα σε όλη του την έκταση.



**Εικόνα 1.2.12:** Αν και το ηλεκτρισμένο σώμα δεν έρχεται σε επαφή με το ηλεκτροσκόπιο, πραγματοποιείται διαχωρισμός φορτίων μέσα σε αυτό και εμφανίζεται ηλεκτρισμένο.



**Εικόνα 1.2.13:** Λόγω της πόλωσης των μορίων της επιφάνειας του πίνακα, το μπαλόνι «κολλάει» στον αφόρτιστο πίνακα.



**Εικόνα 1.2.14:** Άτομο μη πολωμένο (αριστερά) και πολωμένο (δεξιά).

**Ψηφιακή δραστηριότητα για εμπέδωση:**

**Παίξε με την προσομοίωση** στη διπλανή διεύθυνση.

Με ποιον τρόπο φορτίζεται το μπαλόνι;

.....

Γιατί «κολλάει» στον τοίχο;

.....

Τι συμβαίνει με τα άτομα της επιφάνειας του τοίχου;

.....

**Πρακτική δραστηριότητα:**



**Μπορείς να φορτίσεις ένα σώμα πλησιάζοντάς το σε ένα φορτισμένο, χωρίς να τα φέρεις σε επαφή (από απόσταση);**



**Φόρτισε με τριβή μια ράβδο** φελιζόλ και πλησίασέ την στον δίσκο του ηλεκτροσκοπίου, χωρίς να τον αγγίξεις.

Τα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου .....

Χωρίς να απομακρύνεις τη ράβδο, άγγιξε τον δίσκο του ηλεκτροσκοπίου με το χέρι.

Τι παρατηρείς; .....

**Απομάκρυνε** το χέρι.

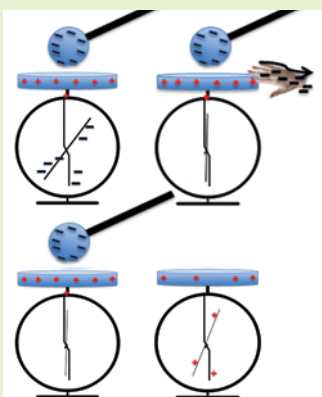
Τα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου παραμένουν .....

**Απομάκρυνε** τη ράβδο.

Τα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου .....



Τα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου ..... χωρίς να τα αγγίξει η φορτισμένη ράβδος.



**Εικόνα 1.2.16:** Η διαδικασία της φόρτισης με επαγωγή μικροσκοπικά.

**Φόρτιση με επαγωγή**

Πλησιάζοντας χωρίς επαφή, ένα αρνητικά φορτισμένο σώμα σε ηλεκτροσκόπιο, αρνητικά φορτία (ηλεκτρόνια) από τον δίσκο, απωθούνται από το σώμα και οδηγούνται στα φύλλα τα οποία ανοίγουν. Ταυτόχρονα ο δίσκος, με έλλειμμα ηλεκτρονίων, εμφανίζεται θετικά φορτισμένος. Πραγματοποιείται έτσι διαχωρισμός φορτίων.

Αγγίζοντας με το δάχτυλό μας τον δίσκο του ηλεκτροσκοπίου, προσφέρεται διέξοδος στα ηλεκτρόνια να κινηθούν μέσα από το σώμα μας προς τη Γη (γείωση). Τα φύλλα εκφορτίζονται και κλείνουν. Στον δίσκο όμως παραμένουν θετικά φορτία (έλλειμμα ηλεκτρονίων).

Απομακρύνοντας το χέρι μας δεν θα δούμε καμία διαφορά. Αν όμως απομακρύνουμε και το αρνητικά φορτισμένο σώμα, το έλλειμμα των ηλεκτρονίων ανακατανέμεται στο στέλεχος, άρα και στα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου, τα οποία ανοίγουν. Φυσικά, το έλλειμμα των ηλεκτρονίων μεταφράζεται σε θετικό φορτίο.

Ηλέκτριση μπαλονιού και τοίχος



**Εικόνα 1.2.15:** Παρακολούθησε τα βίντεο στους συνδέσμους.



Βίντεο 1.2.2



Βίντεο 1.2.3

## Μηχανή παροχής ηλεκτρικών φορτίων

## Η ηλεκτροφόρος

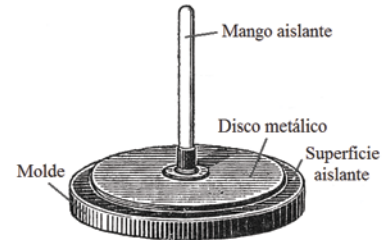
Ο Ιταλός Alessandro Volta (Αλεσάντρο Βόλτα) το 1775, για να εξασφαλίσει μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικών φορτίων για τα πειράματά του, εφηύρε την ηλεκτροφόρο.

Πάνω σε μια γειωμένη μεταλλική πλάκα τοποθέτησε ένα φύλλο από ρητίνη και κερί (υλικά μονωτικά) που με τριβή τα φόρτιζε αρνητικά. Στο φύλλο ακουμπούσε έναν μεταλλικό δίσκο που μπορούσε να μετακινείται με μια ξύλινη λαβή στερεωμένη στο κέντρο του.

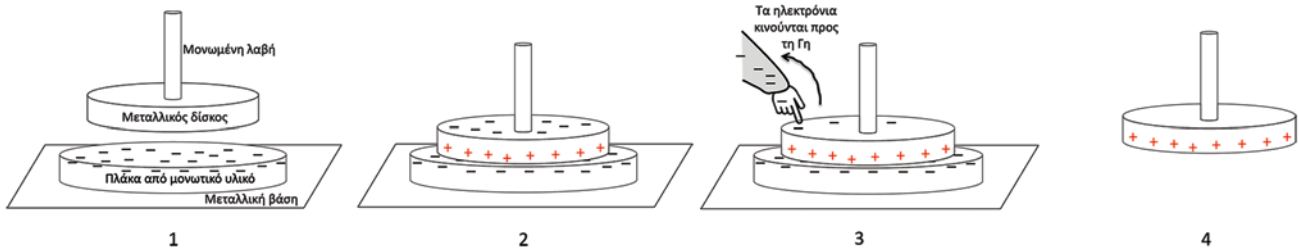
Ο μεταλλικός δίσκος ηλεκτριζόταν διαχωρίζοντας τα φορτία του. Τα θετικά στην κάτω πλευρά και τα αρνητικά στην πάνω.

Άγγιζε την πάνω πλευρά, δίνοντας διέξοδο στα αρνητικά φορτία (ηλεκτρόνια) να διαφύγουν μέσα από το σώμα του προς τη Γη.

Ο δίσκος φορτιζόταν πλέον θετικά, έχοντας έλλειμμα ηλεκτρονίων. Η διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης μπορούσε να επαναληφθεί.



Εικόνα 1.2.17: Η ηλεκτροφόρος του Volta σε σκίτσο και μια κατασκευή του 19ου αιώνα.

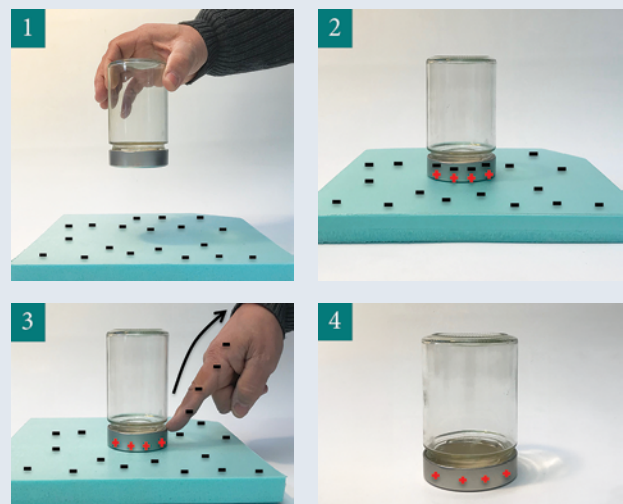


Εικόνα 1.2.18: Η διαδικασία φόρτισης της ηλεκτροφόρου.



Ένα βάζο με μεταλλικό καπάκι, ένα κομμάτι φελιζόλ περίπου 15 cm×15 cm και ένα μαλακό ύφασμα (ή χαρτί κουζίνας) αποτελούν μια απλοποιημένη εκδοχή της ηλεκτροφόρου.

- Φόρτισε αρνητικά το φελιζόλ τρίβοντας με το ύφασμα.
- Κράτα το βάζο ανάποδα, δηλαδή από το γυάλινο μέρος, και φέρε σε επαφή το φελιζόλ με το μεταλλικό καπάκι.
- Τα φορτία του μετάλλου διαχωρίζονται και εμφανίζονται θετικά στην κάτω μεριά και αρνητικά στην πάνω.
- Άγγιξε με το χέρι την πάνω πλευρά, προσφέροντας διέξοδο στα αρνητικά φορτία.
- Το μέταλλο μένει θετικά φορτισμένο.



Εικόνα 1.2.19: Η φόρτιση της απλοποιημένης εκδοχής της ηλεκτροφόρου.

Παρακολούθησε τα βίντεο των παρακάτω συνδέσμων και συζήτησε με τους συμμαθητές σου τα φαινόμενα. Παρουσίασε την εξήγηση στην τάξη.

## Εκφόρτιση

Πρακτική δραστηριότητα:



Βίντεο 1.2.4



Βίντεο 1.2.5



Εικόνα 1.2.20: Ηλεκτροφόρος με αλουμινένιο ταψάκι.



Ένα φορτισμένο σώμα μένει για πάντα φορτισμένο;



Τρίψε μια γυάλινη ράβδο με χαρτί κουζίνας. Άγγιξε με τη ράβδο το ηλεκτροσκόπιο.

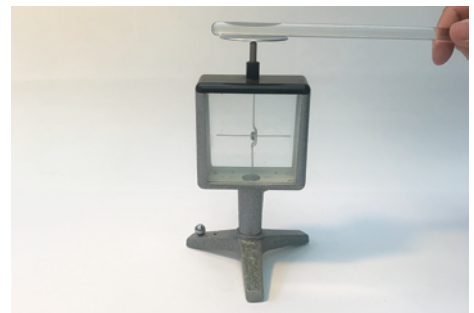
Τα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου .....

**Απομάκρυνε τη ράβδο.**

Τα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου .....

**Άφησε τη ράβδο** στο θρανίο για 3 min. Στη συνέχεια άγγιξε και πάλι με τη ράβδο το ηλεκτροσκόπιο.

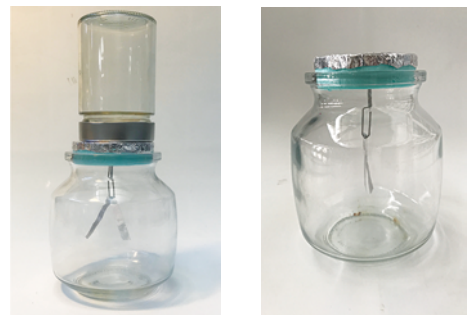
Η ράβδος είναι φορτισμένη; .....



Εικόνα 1.2.21: Η φορτισμένη γυάλινη ράβδος κάνει τα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου να ανοίγουν, όταν ακουμπά στον δίσκο του.



Το ηλεκροσκόπιο ηλεκτρίστηκε με ....., γιατί απομακρύνοντας τη φορτισμένη ράβδο τα φύλλα του ..... Με το πέρασμα του χρόνου τα ηλεκτρικά φορτία ..... από τη ράβδο όπως δείχνει το ηλεκτροσκόπιο.



Εικόνα 1.2.22: Φόρτιση ηλεκτροσκοπίου με την ηλεκτροφόρο (αριστερά) και εκφόρτιση με το χέρι (δεξιά).



**Φόρτισε** την ηλεκτροφόρο και τοποθέτησέ την πάνω στο ηλεκτροσκόπιο. Τα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου ..... **Απομάκρυνε** την ηλεκτροφόρο. Τα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου παραμένουν ..... Άγγιξε το ηλεκτροσκόπιο. Τα φύλλα του .....



Το ηλεκροσκόπιο φορτίστηκε με ..... γιατί απομακρύνοντας τη φορτισμένη ηλεκτροφόρο τα φύλλα του παραμένουν ..... Αγγίζοντας το φορτισμένο ηλεκτροσκόπιο, το φορτίο του ..... Το ανθρώπινο σώμα είναι αγωγός ή μονωτής; .....

Στα πειράματα ηλεκτρίσης με τριβή της παραγράφου 1.1, φορούσα ελαστικά γάντια μιας χρήσης για να ..... τα φορτία να απομακρυνθούν με το άγγιγμά μου.



## Εκφόρτιση

Ένα φορτισμένο αντικείμενο, αργά ή γρήγορα χάνει τα φορτία του. Υπεύθυνη γι' αυτό είναι η υγρασία καθώς και φορτισμένα σωματίδια στον αέρα που διευκολύνουν τα φορτία να δραπετεύσουν από το φορτισμένο αντικείμενο.

Η Γη, όπως και το ανθρώπινο σώμα, είναι αγωγός. Αν προσπαθήσουμε να φορτίσουμε την ηλεκτροφόρο, ενώ ακουμπάμε με τα δάχτυλά μας το μέταλλο, τα φορτία θα κινηθούν μέσα από το σώμα μας και θα πάνε στη Γη. Το φαινόμενο ονομάζεται **γείωση** και είναι πολύ χρήσιμο στα αλεξικέραυνα, στις οικιακές συσκευές, στις ηλεκτρονικές συσκευές κτλ.

Αξίζει να επισημάνουμε ότι η Γη είναι ένας τεράστιος αγωγός που «καταπίνει» όλα τα φορτία!

OXI

ΝΑΙ

## Ο νόμος του Coulomb

Ψηφιακή δραστηριότητα:



Είναι δυνατόν να υπολογίσεις τη δύναμη που ασκείται ανάμεσα σε δύο φορτισμένα σώματα;



Το 1785 ο Γάλλος φυσικός Charles Coulomb (Σαρλ Κουλόμπ) μελέτησε τις ηλεκτρικές αλληλεπιδράσεις επηρεασμένος από τον νόμο παγκόσμιας έλξης του Νεύτωνα.

Έτσι προσδιόρισε την επίδραση που έχει η απόσταση πάνω στη δύναμη μεταξύ δύο φορτισμένων σφαιρών. Κατασκεύασε, για τον σκοπό αυτό, τον περίφημο ζυγό στρέψης και, χρησιμοποιώντας φορτισμένες σφαίρες, προσδιόρισε με μεγάλη ακρίβεια ότι η ηλεκτρική δύναμη είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης μεταξύ δύο σημειακών φορτίων. Με τον όρο “σημειακό φορτίο” εννοούμε το φορτίο που φέρει ένα σώμα αμελητέων διαστάσεων.

Σε μια εποχή που δεν υπήρχε η δυνατότητα μέτρησης του ηλεκτρικού φορτίου, στην επιτυχία αυτή συνετέλεσε η ευφυής σκέψη του Coulomb να φέρει σε επαφή μεταξύ τους δύο ίδιες μικρές σφαίρες, τη μία φορτισμένη και την άλλη αφορτιστη και να θεωρήσει (όπως πράγματι συμβαίνει) ότι το ηλεκτρικό φορτίο μετακινείται και μοιράζεται σε ίσα μέρη στις δύο σφαίρες.

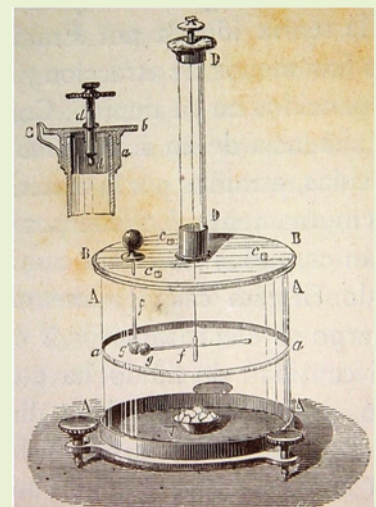
Σήμερα γνωρίζουμε με πολύ μεγάλη ακρίβεια ότι η ηλεκτρική δύναμη μεταξύ δύο σημειακών φορτίων έχει διεύθυνση την ευθεία που περνά από τα σημειακά φορτία και το μέτρο της είναι ανάλογο του γινομένου των φορτίων και αντιστρόφως ανάλογο του τετραγώνου της μεταξύ τους απόστασης.

Εκφράζεται μάλιστα από τη σχέση (1.2.1), όπου  $K = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$

$Q_1, Q_2$  τα δύο σημειακά φορτία

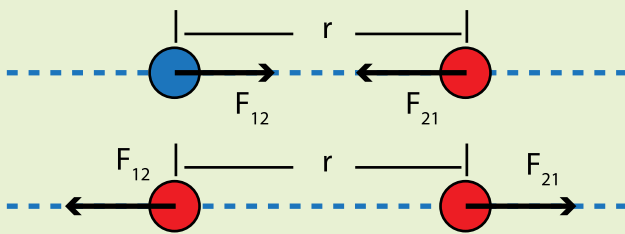
$r$  η μεταξύ τους απόσταση

$F$  η δύναμη Coulomb



Εικόνα 1.2.23: Ο ζυγός στρέψης του Coulomb.

$$F = K \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \quad (1.2.1)$$



Εικόνα 1.2.24: Η αλληλεπίδραση δύο ετερόσημων (πάνω) και δύο ομόσημων (κάτω) φορτίων.

## Νόμος Coulomb

Η ηλεκτρική δύναμη είναι διανυσματικό μέγεθος. Η διεύθυνσή της βρίσκεται στην ευθεία που συνδέει τα δύο σημειακά φορτία και είναι ελκτική αν τα φορτία είναι αντίθετα φορτισμένα ή ετερόσημα και απωστική αν είναι με όμοιο είδος φορτίου ή ομόσημα.

Σύμφωνα με τον 3<sup>ο</sup> νόμο του Newton, το μέτρο της δύναμης που ασκείται στα δύο φορτία που αλληλεπιδρούν είναι πάντοτε ίδιο.



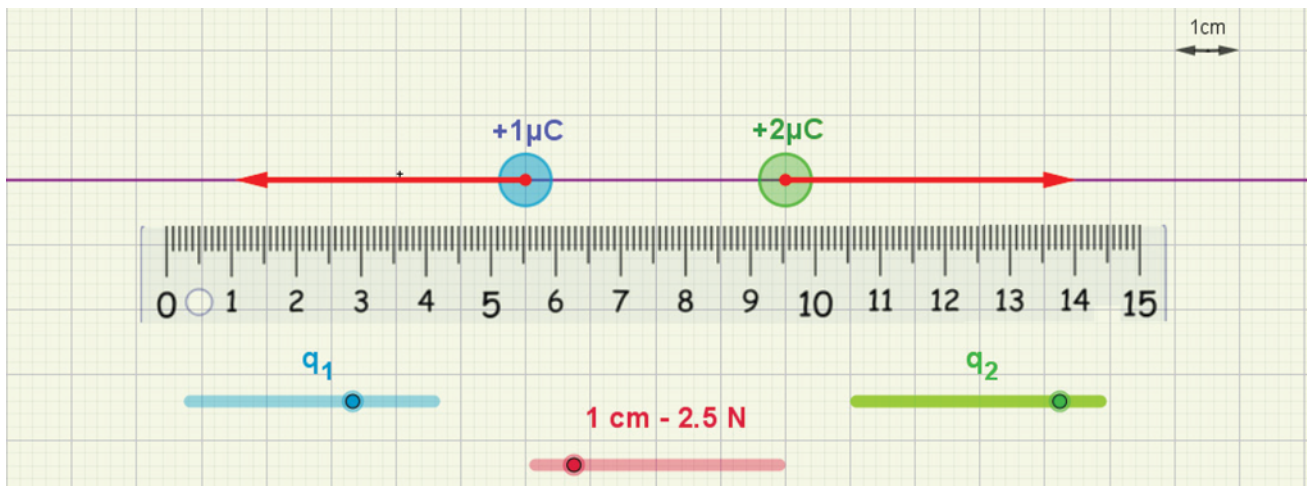
### Πείραμα μέσω προσομοίωσης για την επαλήθευση του νόμου του Coulomb

Στον υπερσύνδεσμό του βρίσκεται η προσομοίωση για τον νόμο του Coulomb.

Το περιβάλλον του εικονικού εργαστηρίου αποτελείται από δύο φορτία  $q_1$  και  $q_2$  τα οποία μπορούν να μετακινούνται κατά μήκος μιας ευθείας με τη βοήθεια του ποντικιού και έναν χάρακα που μετράει αποστάσεις σε cm.



Εικονικό εργαστήριο - Νόμος Coulomb



Τα φορτία έχουν μεταβολείς και μπορούν να παίρνουν τιμές από  $-3 \mu\text{C}$  έως  $+3 \mu\text{C}$  (με βήμα  $1 \mu\text{C}$ ).

Στα φορτία ασκούνται οι ηλεκτρικές δυνάμεις Coulomb (ελκτικές ή απωστικές).

#### Με τον χάρακα μπορούν να μετρηθούν:

- η απόσταση των δύο φορτίων.
- το μήκος των διανυσμάτων των δυνάμεων Coulomb και με την αντιστοιχία cm-N να προσδιοριστεί το μέτρο αυτών των δυνάμεων.

Για να μελετήσεις την εξάρτηση της ηλεκτροστατικής δύναμης από τα φορτία και τη μεταξύ τους απόσταση, θα πρέπει να μελετήσεις, σε διαφορετικές πειραματικές δραστηριότητες, την εξάρτηση της δύναμης από καθέναν από τους παράγοντες, κρατώντας τους υπόλοιπους σταθερούς.



### Εξάρτηση της ηλεκτροστατικής δύναμης από το φορτίο $q_1$

Τοποθέτησε τα φορτία σε μία απόσταση  $r = 4 \text{ cm}$

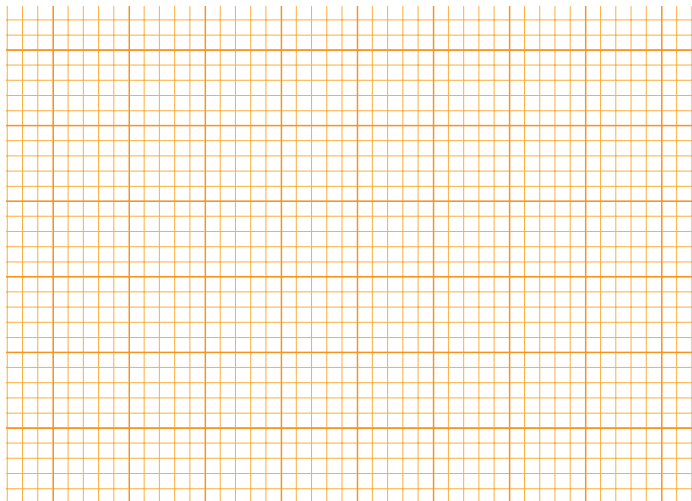


Ενδεικτική λύση

Όρισε για το  $q_2$  την τιμή  $1\mu\text{C}$ .

Μετάβαλε την τιμή του  $q_1$  όπως αναγράφεται στον πίνακα 1.2.1 και συμπλήρωσε το μέτρο της δύναμης. Με τις τιμές του πίνακα 1.2.1 πραγματοποίησε τη γραφική παράσταση Δύναμης - Φορτίου  $q_1$ .

$q_1$ ( $\mu\text{C}$ )	$F(\text{N})$
0	
+1	
+2	
+3	



Από τη γραμμή της γραφικής παράστασης προκύπτει ότι η δύναμη είναι ..... του φορτίου  $q_1$ .



**Εξάρτηση της ηλεκτροστατικής δύναμης από το φορτίο  $q_2$**

Τοποθέτησε τα φορτία σε μία απόσταση  $r = 4\text{ cm}$ .

Όρισε για το  $q_1$  την τιμή  $1\mu\text{C}$ .

Μετάβαλε την τιμή του  $q_2$  όπως αναγράφεται στον πίνακα 1.2.2 και συμπλήρωσε το μέτρο της δύναμης.

$q_2$ ( $\mu\text{C}$ )	$F(\text{N})$
0	
+1	
+2	
+3	

Τι παρατηρείς συγκρίνοντας τις τιμές της ηλεκτροστατικής δύναμης στον πίνακα 1.2.2 με τις τιμές στον πίνακα 1.2.1;

.....

.....

.....



Ενδεικτική λύση



Άρα η δύναμη είναι ..... και του φορτίου  $q_2$ .



**Εξάρτηση της ηλεκτροστατικής δύναμης  $F$  από την απόσταση μεταξύ των φορτίων**

Όρισε για το  $q_1$  και το  $q_2$  την τιμή  $1\mu\text{C}$ .

Τοποθέτησε τα φορτία στις αποστάσεις που αναγράφονται στον πίνακα 1.2.3 και συμπλήρωσε το μέτρο της δύναμης.

Συμπλήρωσε τη δεύτερη στήλη του πίνακα με τις τιμές του  $1/r^2$ .

Με τις τιμές του πίνακα 3 πραγματοποίησε τη γραφική παράσταση Δύναμης - Απόστασης Φορτίων και τη γραφική παράσταση Δύναμης -  $1/r^2$ .

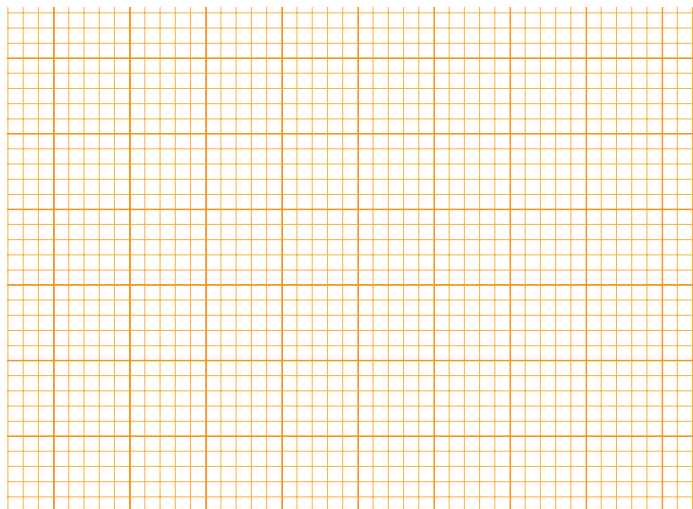


Ενδεικτική λύση.

Πίνακας 1.2.3		
$r$ (cm)	$\frac{1}{r^2}$ (1/cm <sup>2</sup> )	$F$ (N)
2		
4		
6		
8		
10		



Άρα η δύναμη ..... είναι ανάλογη της απόστασης μεταξύ των φορτίων αλλά ..... του αντιστρόφου της απόστασής τους στο τετράγωνο.



## Διεπιστημονικές – Διαθεματικές Εφαρμογές της Θεωρίας, Γενίκευση, Εμπέδωση, Ερμηνείες με τον μικρόκοσμο

### 1. Φωτοτυπικό μηχάνημα

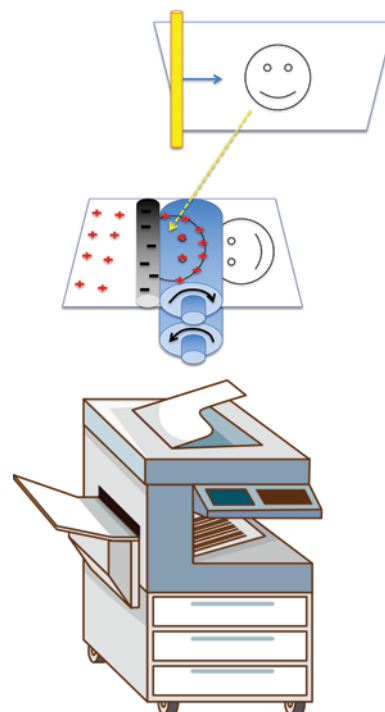
Έχει πολύ συχνά κατηγορηθεί ως ο μεγαλύτερος καταστροφέας των δασών λόγω της ευκολίας που παρέχει στην αντιγραφή σελίδων.

Η λειτουργία του βασίζεται στην ιδιότητα των αντίθετα φορτισμένων σωματιδίων να έλκονται, στην ιδιότητα του χημικού στοιχείου σεληνίου να παραμένει φορτισμένο όταν δεν φωτίζεται αλλά να εκφορτίζεται όταν φωτιστεί και στην ιδιότητα των πλαστικών να λιώνουν με θέρμανση.

Έτσι το φωτοτυπικό μηχάνημα δεν χρησιμοποιεί μελάνι αλλά toner. Το toner αποτελείται από ξηρή, λεπτή σκόνη γραφίτη, πολυεστέρα (είδος πλαστικού) και χρώματος (για τα έγχρωμα).

Ξεκινώντας την αντιγραφή ενός πρωτότυπου, ένα σύστημα φακών και καθρεπτών σχηματίζει το είδωλό του (την εικόνα του) επάνω σε έναν περιστρεφόμενο κύλινδρο, το τύμπανο. Η επιφάνεια του τυμπάνου είναι καλυμμένη με σεληνιο και φορτισμένη ομοιόμορφα με θετικό φορτίο. Καθώς το τύμπανο φωτίζεται, τα μαύρα σημεία του πρωτότυπου δεν θα φωτίσουν το τύμπανο, ενώ τα λευκά θα το φωτίσουν και σε αυτά το σεληνιο θα εκφορτιστεί. Συνεπώς στην επιφάνεια του κυλίνδρου σχηματίζεται μια αόρατη εικόνα του πρωτότυπου, σχηματισμένη από θετικά φορτία.

Στη συνέχεια, καθώς ο κύλινδρος περιστρέφεται, το είδωλο έλκει αρνητικά φορτισμένα σωματίδια toner και στη συνέχεια τα αποθέτει σε ένα θετικά φορτισμένο χαρτί. Μετά, το χαρτί θερμαίνεται, ο πολυεστέρας λιώνει, απορροφάται από το χαρτί και λαμβάνουμε ένα ακριβές, μόνιμο αντίγραφο.

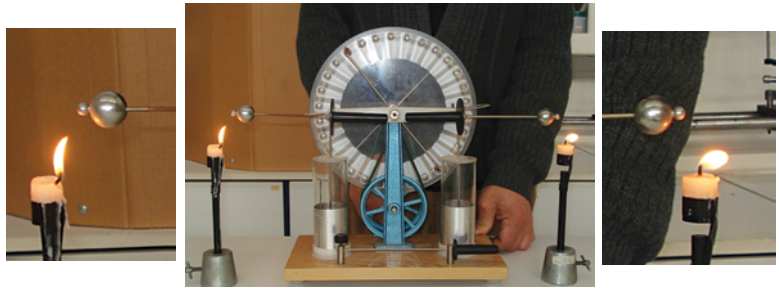


Εικόνα 1.2.25: Απεικόνιση της λειτουργίας του φωτοτυπικού μηχανήματος.

## 2. Πείραμα με τη μηχανή Wimshurst

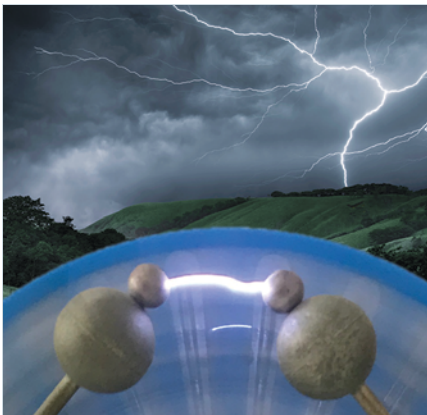
Εύρεση θετικού και αρνητικού πόλου:

Η φλόγα του κεριού διώχνει ηλεκτρόνια από τα μόρια του αέρα, οπότε τα φορτίζει θετικά. Ο ζεστός αέρας (και θετικά φορτισμένος) ανεβαίνει προς τα πάνω γιατί είναι αραιότερος από τον κρύο αέρα. Έτσι η φλόγα του κεριού απωθείται από τον θετικό και έλκεται από τον αρνητικό πόλο της μηχανής Wimshurst.



Εικόνα 1.2.26: Αριστερά ο αρνητικός πόλος και δεξιά ο θετικός πόλος της μηχανής Wimshurst.

## 3. Από τη μηχανή Wimshurst στον κεραυνό



Εικόνα 1.2.27: Ένα όμοιο φαινόμενο από πλευράς Φυσικής, με μεγάλες διαφορές λόγω της κλίμακας.

Κατά τους αρχαίους Έλληνες ο κεραυνός αποτελούσε πανίσχυρο όπλο του Δία. Ο Αμερικανός επιστήμονας Benjamin Franklin το 1752, τον απομυθοποίησε και απέδειξε ότι πρόκειται για γιγάντιο ηλεκτρικό σπινθήρα, που οφείλεται στα ηλεκτρισμένα σύννεφα.

Οι κεραυνοί είναι βίαιες και σε μεγάλη κλίμακα εκδηλώσεις της ηλεκτρικής δράσης στην ατμόσφαιρα. Δημιουργούνται όταν τα υδροσταγονίδια και οι παγοκρύσταλλοι των νεφών μιας καταιγίδας ηλεκτρίζονται και συσσωρεύονται φορτία σε διαφορετικές περιοχές των νεφών. Έτσι, όταν αντίθετα φορτισμένες περιοχές πλησιάσουν, ξεσπά ηλεκτρικός σπινθήρας, που τον ονομάζουμε κεραυνό.

Κεραυνοί εμφανίζονται ανάμεσα σε σημεία του ίδιου νέφους ή ανάμεσα σε σημεία νεφών, με διαφορετικό φορτίο. Εμφανίζονται επίσης ανάμεσα στο έδαφος και ένα φορτισμένο νέφος που πλησίασε το έδαφος και το φόρτισε εξ επαγωγής με αντίθετο φορτίο. Μάλιστα, εκδηλώνονται με έντονη λάμψη (αστραπή) λόγω της υψηλής θέρμανσης κατά τη βίαιη διαδρομή των φορτίων, καθώς και εκκωφαντικό θόρυβο που παράγεται καθώς αέριες μάζες σπείδουν να καλύψουν τα κενά που δημιούργησε η διαστολή του αέρα κατά τη υψηλή θέρμανσή του.

## 4. Από τον κεραυνό στο αλεξικέραυνο

Επειδή όταν μια φορτισμένη περιοχή σύννεφου πλησιάσει σχετικά κοντά στο έδαφος, το φορτίζει με επαγωγή, με αντίθετα ηλεκτρικά φορτία, πραγματοποιείται ηλεκτρική εκκένωση καθώς φορτία από το σύννεφο και αντίθετα φορτία από τη Γη συναντιούνται λίγα μέτρα πάνω από το έδαφος.

Τα κτίρια προστατεύονται από τους κεραυνούς με τα αλεξικέραυνα, μια επινόηση του Benjamin Franklin. Σε μια περιοχή με κτίρια, επιλέγεται το πιο ψηλό (συνήθως είναι καμπαναριό εκκλησίας στη χώρα μας) και το ψηλότερο σημείο του συνδέεται με χοντρό χάλκινο καλώδιο με μια μεταλλική πλάκα που βυθίζεται στο έδαφος. Οι κεραυνοί χτυπούν στο σημείο αυτό αλλά δεν βλάπτουν το κτίριο, γιατί η Γη «καταπίνει» τα φορτία. Τα γειτονικά κτίρια προστατεύονται, γιατί απλά δεν θα τα προτιμήσει ο κεραυνός.



έδαφος

Εικόνα 1.2.28: Αλεξικέραυνο σε καμπαναριό.

Εννοιολογικός Χάρτης



Ενότητας 1.2

Ερωτήσεις

1. Να ταξινομηθούν τα παρακάτω σώματα σε αγωγούς και μονωτές.

Γυάλινο ποτήρι, Μύτη μηχανικού μολυβιού, Χάλκινο καλώδιο, Τετράδιο, Ανθρώπινο σώμα, Γη, Χάρτινο κουτί, Πλαστικός Χάρακας, Μπρίκι καφέ, Πιάτο.

Μονωτής	Αγωγός

Δοκίμασε την άσκηση και στο:



Αγωγοί και μονωτές

2. Έλεγξε τις γνώσεις σου.



3. Να συμπληρώσεις τις λέξεις που λείπουν από το παρακάτω κείμενο έτσι ώστε οι προτάσεις που

προκύπτουν να είναι επιστημονικά ορθές:

Όταν σ' ένα υλικό ακουμπάμε ένα φορτισμένο σώμα κι αυτό φορτίζεται σε όλη του την έκταση, είναι ..... Όταν φορτίζεται μόνο τοπικά, το ονομάζουμε ..... Το αλουμίνιο είναι ..... ενώ το πλαστικό είναι .....

4. Δύο μονωμένες μεταλλικές σφαίρες έχουν φορτία 6  $\mu\text{C}$  και 3  $\mu\text{C}$ . Τις φέρνουμε σε επαφή και τις απομακρύνουμε προσέχοντας να παραμείνουν ηλεκτρικά απομονωμένες από το περιβάλλον τους. Μετά την επαφή τους, οι σφαίρες είναι δυνατόν να έχουν φορτία:

- i. 2  $\mu\text{C}$  και 8  $\mu\text{C}$
- ii. 4  $\mu\text{C}$  και 4  $\mu\text{C}$
- iii. 5  $\mu\text{C}$  και 4  $\mu\text{C}$
- iv. 7  $\mu\text{C}$  και 3  $\mu\text{C}$

5. Να εξηγήσεις γιατί:

- i. Είναι δύσκολο να ηλεκτρίσουμε ένα σώμα σε χώρο με σχετικά υψηλή υγρασία.
- ii. Με ξηρό καιρό, αν τρίψουμε τα πόδια μας σε συνθετικό χαλί και ακουμπήσουμε το μεταλλικό πόμολο μιας πόρτας, θα αισθανθούμε μια μικρή ηλεκτρική εκκένωση.
- iii. Μόλις βγούμε από το αυτοκίνητο και ακουμπήσουμε το μεταλλικό πλαίσιο της πόρτας, αισθανόμαστε ένα μικρό ηλεκτροσόκ.
- iv. Μπορεί να είναι επικίνδυνο να στεκόμαστε κάτω από ένα δέντρο κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας στην εξοχή.

6. Πλησιάζεις στο στέλεχος του ηλεκτροσκοπίου, χωρίς να το ακουμπήσεις, μια αρνητικά φορτισμένη ράβδο και παρατηρείς ότι τα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου ανοίγουν. Για ποιον λόγο συμ-

**Ασκήσεις**

βαίνει αυτό; Τι θα παρατηρούσες στην περίπτωση που η ράβδος ήταν θετικά φορτισμένη;

7. Μπορεί ένα σώμα να είναι ηλεκτρισμένο χωρίς να είναι φορτισμένο; Εξήγησε δίνοντας ένα παράδειγμα που να τεκμηριώνει την άποψή σου.

8. Δύο φορτισμένες σφαίρες τοποθετούνται σε μια ορισμένη απόσταση μεταξύ τους και αν τις αφήσουμε ελεύθερες έχουν την τάση να πλησιάσουν μεταξύ τους. Να χαρακτηρίσεις καθεμιά από τις προτάσεις στον σύνδεσμο ως σωστή (Σ) ή λανθασμένη (Λ) χρησιμοποιώντας τον νόμο του Coulomb.



9. Απάντησε στην ερώτηση στον σύνδεσμο για τη δύναμη που ασκείται μεταξύ δύο σημειακών φορτίων που βρίσκονται σε απόσταση  $r$ .



10. Δίνονται δύο θετικά σημειακά φορτία  $q_1$  και  $q_2$ , με  $q_1 = 2q_2$ . Ποιο από τα παρακάτω σχήματα απεικονίζει σωστά την αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο φορτίων;

- i.
- ii.
- iii.
- iv.

11. Γράψε τον νόμο του Coulomb χρησιμοποιώντας τον σύνδεσμο.



1. Τρίβουμε μεταξύ τους δύο σώματα τα οποία ήταν αρχικά ουδέτερα. Αν το φορτίο του πρώτου σώματος μετά την τριβή είναι  $+5 \mu\text{C}$ , τότε ποιο είναι το φορτίο του δεύτερου σώματος;

.....

2. Μετά τη φόρτισή της, μια ηλεκτροφόρος αποκτά ηλεκτρικό φορτίο  $Q = +6 \mu\text{C}$ . Στη συνέχεια φέρνουμε σε επαφή την ηλεκτροφόρο με μια ουδέτερη μεταλλική σφαίρα.

- i. Να περιγράψεις τι θα συμβεί.
- ii. Μετά την επαφή με τη μεταλλική σφαίρα, η ηλεκτροφόρος έχει φορτίο  $+4 \mu\text{C}$ . Πόσο είναι το ηλεκτρικό φορτίο που απέκτησε η σφαίρα;

3. Φέρνουμε σε επαφή δύο αγωγίμα σώματα που είναι φορτισμένα με διαφορετικό είδος φορτίου.

Πριν την επαφή:

$Q_1 = +15 \mu\text{C}$ ,  $Q_2 = -5 \mu\text{C}$  και  $Q_{ολ} = \dots\dots\dots$

Μετά την επαφή:

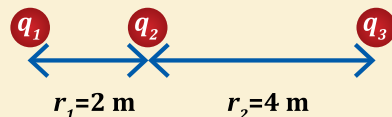
$Q_1 = +6 \mu\text{C}$ ,  $Q_2 = \dots\dots\dots$  και

$Q_{ολ} = \dots\dots\dots$

4. Λύσε την άσκηση στον σύνδεσμο.



5. Στο σχήμα όλα τα σφαιρίδια έχουν την ίδια ποσότητα φορτίου. Τα φορτία  $q_1$  και  $q_3$  είναι θετικά, ενώ το  $q_2$  αρνητικό.



Σχεδιάσε τις δυνάμεις που ασκούνται στο κάθε φορτίο. Αν το  $q_2$  αφεθεί ελεύθερο:

Επίλεξε το σωστό και εξήγησε.

- i. θα κινηθεί προς τα αριστερά.
- ii. θα κινηθεί προς τα δεξιά.
- iii. θα μείνει ακίνητο.

i.  $F'_{AB} = 2F'_{BA} = 2F_{AB}$

ii.  $F'_{AB} = F'_{BA} = 2F_{AB} = 2F_{BA}$

iii.  $F'_{AB} = F'_{BA} = F_{AB} = F_{BA}$

Επίλεξε το σωστό και εξήγησε.

### Προβλήματα

1. Στην εικόνα 1.2.16 βλέπουμε τη φόρτιση με επαγωγή ενός ηλεκτροσκοπίου στο οποίο πλησιάζουμε ένα αρνητικά φορτισμένο σώμα. Σχεδίασε τις αντίστοιχες εικόνες για τη φόρτιση με επαγωγή του ηλεκτροσκοπίου όταν πλησιάζουμε ένα θετικά φορτισμένο σώμα.

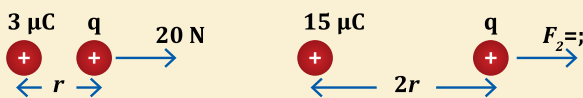
2. Τα κέντρα δύο μικρών φορτισμένων σφαιρών απέχουν 36 cm. Οι σφαίρες έλκονται με δύναμη της οποίας το μέτρο είναι 0,24 N. Αν οι σφαίρες απομακρυνθούν ώστε τα κέντρα τους να απέχουν 72 cm, η δύναμη της έλξης ανάμεσά τους θα γίνει:

i. 0,12 N  iii. 0,48 N

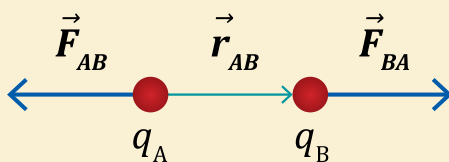
ii. 0,06 N  iv. 0,96 N

3. α. Υπολόγισε την  $F_2$  του παρακάτω σχήματος (η δύναμη  $F_2$  δεν είναι με σωστή αναλογία).

β. Σχεδίασε τις δυνάμεις που ασκούνται σε κάθε φορτίο με σωστές αναλογίες.



4. Για τα δύο φορτία του σχήματος, αν το φορτίο A διπλασιαστεί και το B μείνει ίδιο, τότε για τα μέτρα των δυνάμεων ισχύει:



## 1.3 Ηλεκτρικό πεδίο – Διαφορά δυναμικού



Για τις δραστηριότητες της παραγράφου αυτής θα χρειαστούν:

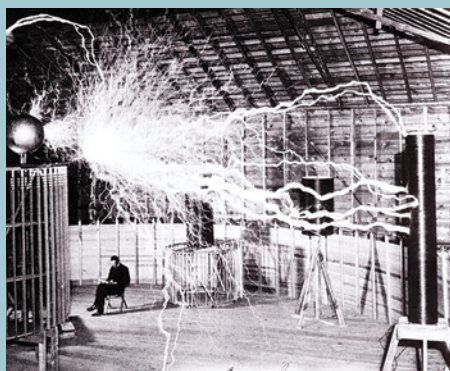
Φελιζόλ (εξηλασμένη πολυστερίνη), λεπτό κορδονάκι από φυτικό μετάξι (rayon), χάρτινο καλαμάκι αναψυκτικού, δύο μεταλλικά καρφιά μήκους 12 cm, λεπτό ύφασμα από φυτικό μετάξι (π.χ. ένα παλιό φόρεμα), 2 παραλληλόγραμμα αλουμινένια ταψάκια μιας χρήσης (φόρμες), αλουμινόχαρτο, οδο-ντογλυφίδα.



Εικόνα 1.3.1: Σύγχρονη σφαίρα πλάσματος.



Εικόνα 1.3.2: Σπινθήρας ηλεκτροστατικής μηχανής σχολικού εργαστηρίου.



Εικόνα 1.3.3: Ο Nikola Tesla στο εργαστήριό του.

**Μετά από αυτή την ενότητα θα είσαι σε θέση να:**

1. δίνεις τον ορισμό του ηλεκτρικού πεδίου.
2. αναγνωρίζεις τις δυναμικές γραμμές ως τρόπο απεικόνισης ενός πεδίου και να σχεδιάζεις τις δυναμικές γραμμές ηλεκτρικών πεδίων με ένα ή δύο σημειακά φορτία.
3. αναγνωρίζεις ότι ένα φορτισμένο σωματίδιο μέσα στο ηλεκτρικό πεδίο έχει δυναμική ενέργεια.
4. συνδέεις τη διαφορά δυναμικού με τη διαφορά ηλεκτρικής δυναμικής ενέργειας.
5. αναφέρεις το Volt ως μονάδα μέτρησης της διαφοράς δυναμικού.



**Nikola Tesla (Νικόλα Τέσλα) ο επιστήμονας που εφηύρε το μέλλον**

Η σφαίρα πλάσματος (plasma ball) εφευρέθηκε από τον Nikola Tesla, ο οποίος κατοχύρωσε την πατέντα του ως US0514170 στις 6 Φεβρουαρίου 1894. Ο σύγχρονος σχεδιασμός της σφαίρας πλάσματος οφείλεται στον Bill Parker (Μπιλ Πάρκερ), φοιτητή του MIT, ο οποίος χρησιμοποίησε για την κατασκευή της ηλεκτρονικά κυκλώματα, μία τεχνολογία που δεν υπήρχε την εποχή του Tesla.

Παρατηρώντας έναν κεραυνό, μια εκκένωση από μηχανή Wimshurst και μια σφαίρα πλάσματος, βλέπεις ομοιότητες και διαφορές. Αυτές είναι που θα διαπραγματευτείς στην παράγραφο αυτή.

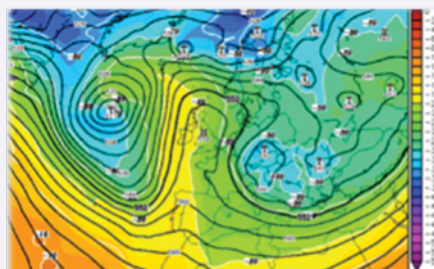
## Ας αναρωτηθούμε

Παρατήρησε προσεκτικά τις εικόνες 1.3.1 ως 1.3.5 και σχημάτισε μερικές προτάσεις για αυτές χρησιμοποιώντας τις λέξεις «χώρος» και «πεδίο».



Εικόνα 1.3.4: Μάχη στα Δερβενάκια, 1822.

Παρακολούθησε το βίντεο στον σύνδεσμο και προσπάθησε να εξηγήσεις πού βρέθηκε η ενέργεια για να φωτοβολήσει η λάμπα φθορισμού.



Εικόνα 1.3.5: Μετεωρολογικός χάρτης με περιοχές υψηλής και χαμηλής πίεσης.



Εικόνα 1.3.6: Η λάμπα φθορισμού φωτοβολεί στιγμιαία με την ηλεκτροφόρο.



Βίντεο 1.3.1: Η λάμπα φθορισμού ακουμπά την ηλεκτροφόρο.



## Κατασκευές

### Σταθερή ράβδος

Στήριξε μία ράβδο φελιζόλ μήκους 30 cm πάνω σε βάση από φελιζόλ με τη βοήθεια μιας οδοντογλυφίδας. Η ράβδος μπορεί εύκολα να φορτιστεί τρίβοντας με χαρτί κουζίνας.

### Ανιχνευτής ηλεκτρισμένων σωμάτων

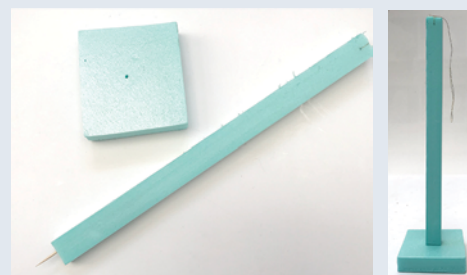
Κάνε μια τομή στο καλαμάκι, στο ένα του άκρο, και στερέωσε μέσα από αυτήν ένα κομμάτι κορδόνι. Το κορδόνι ηλεκτρίζεται εύκολα με επαγωγή, όταν πλησιάζει σε ένα φορτισμένο σώμα.

### Κινητές ράβδοι

Σε 5 ράβδους φελιζόλ μήκους 30 cm περνάς λεπτή κλωστή στη μια άκρη για να μπορείς να τις κρεμάσεις.

### Ηλεκτρικός θύσανος

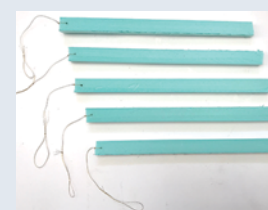
Κόψε μερικά κορδονάκια μήκους 16 cm και στερέωσέ τα με λάστιχο στο κεφάλι του καρφιού. Για βάση χρησιμοποίησε ένα κομμάτι φελιζόλ και κάρφωσε το καρφί. Χρειάζεσαι δύο θυσάνους.



Εικόνα 1.3.7: Σταθερή ράβδος που φορτίζεται.



Εικόνα 1.3.8: Ανιχνευτής ηλεκτρισμένων σωμάτων.



Εικόνα 1.3.9: Ράβδοι που τις φορτίζεις και τις κρεμάς.

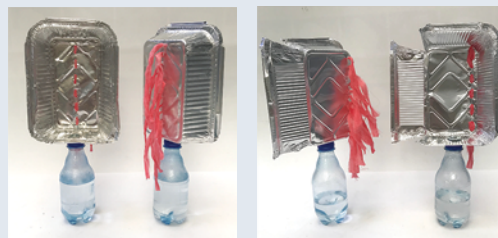


Εικόνα 1.3.10: Ηλεκτρικός θύσανος από κορδόνια.



### Ηλεκτρικοί θύσανοι σε επίπεδο αγωγό

Κόψε λωρίδες από το μεταξωτό ύφασμα. Κάνε τρύπες σε δύο αλουμινένια ταψάκια. Πέρασε τις λωρίδες στις τρύπες, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.3.11. Στήριξέ τα σε δύο μπουκάλια αναψυκτικού κάνοντας τομές σε σχήμα x, λυγίζοντας το αλουμινόχαρτο και βιδώνοντας το πώμα. Μέσα στα μπουκάλια βάλε νερό για να μην ανατρέπονται.



Εικόνα 1.3.11: Κατασκευή θυσάνων σε επίπεδο μεταλλικό αγωγό - δύο εκδοχές.

### Αιωρούμενη αγωγή σφαίρα

Τύλιξε με λίγο αλουμινόχαρτο ένα μπαλάκι φελιζόλ διαμέτρου από 1-3 cm. Κρέμασέ το από μια κλωστή. Το μπαλάκι μπορεί εύκολα να φορτιστεί επαγωγικά και εξ επαφής.



Εικόνα 1.3.12: Αιωρούμενη αγωγή σφαίρα.

## Το ηλεκτρικό πεδίο

### Πρακτική δραστηριότητα



**Μπορείς να διαπιστώσεις αν σε έναν χώρο ασκούνται ηλεκτρικές δυνάμεις;**



**Πλησίασε τον ανιχνευτή** σε διάφορα σημεία γύρω από τη σταθερή και κατακόρυφη ράβδο.

Τι παρατηρείς; .....

**Φόρτισε τη ράβδο** τρίβοντας με χαρτί κουζίνας και πλησίασε πάλι τον ανιχνευτή σε διάφορα σημεία γύρω της. Τι συμβαίνει τώρα;

.....

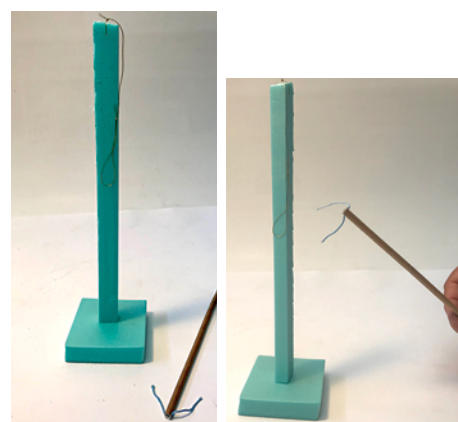
.....

**Απομάκρυνε αργά τον ανιχνευτή** από τη ράβδο. Εξακολουθεί ο ανιχνευτής να δέχεται ηλεκτρικές δυνάμεις όταν η μεταξύ τους απόσταση ξεπεράσει το μισό μέτρο;

.....



Το κορδονάκι του ανιχνευτή πλησιάζει τη ράβδο και ηλεκτρίζεται με ..... . Ο χώρος γύρω από τη ράβδο αποκτά την ..... να ασκεί ηλεκτρικές δυνάμεις σε ηλεκτρισμένα σώματα που βρίσκονται κοντά. Η ιδιότητα αυτή, που εμφανίζεται στην περιοχή, υπάρχει ακόμα κι όταν δεν πλησιάσει ο ..... Σε σχετικά μεγάλη από τη φορτισμένη ράβδο απόσταση δεν φαίνεται να ασκούνται ηλεκτρικές δυνάμεις στον ανιχνευτή. Η ιδιότητα δεν είναι πλέον ανιχνεύσιμη.



Εικόνα 1.3.13: Ράβδος και ανιχνευτής.



## Ηλεκτρικό Πεδίο

Ονομάζουμε ηλεκτρικό πεδίο τον χώρο που έχει την ιδιότητα να ασκεί ηλεκτρικές δυνάμεις σε κάθε ηλεκτρισμένο σώμα που φέρνουμε μέσα σ' αυτόν.

### Πρακτική δραστηριότητα:



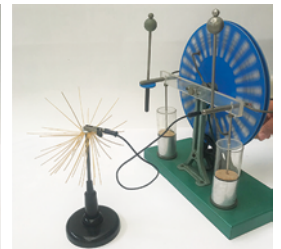
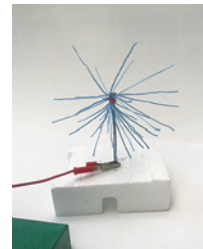
Έχεις διαπιστώσει ότι το ηλεκτρικό πεδίο απλώνεται στον χώρο γύρω από κάθε φορτίο (πηγή του πεδίου) προς όλες τις κατευθύνσεις. Συνεπώς είναι τρισδιάστατο. Όμως, δεν μπορείς να το δεις με τα μάτια σου, είναι αόρατο. Είναι δυνατόν να απεικονίσεις ένα ηλεκτρικό πεδίο ώστε να έχεις μια οπτική αίσθησή του;



Σύνδεσε έναν ηλεκτρικό θύσανο με τον έναν πόλο της μηχανής Wimshurst και ενεργοποίησέ τη.

Φορτίο από τη μηχανή συσσωρεύεται στο «κεφάλι» του θυσάνου και είναι σαν να έχεις ένα σημειακό φορτίο. Τι παρατηρείς;

.....  
 .....  
 .....



Εικόνα 1.3.14: Ένας ηλεκτρικός θύσανος συνδέεται με μηχανή Wimshurst.

Ζωγράφισε στον κενό χώρο το σχήμα που βλέπεις να παίρνει ο θύσανος.



Βίντεο 1.3.2:  
 Η φόρτιση του ηλεκτρικού θυσάνου με μηχανή Wimshurst.



Κάθε κλωστή του θυσάνου αποκτά το ..... είδος φορτίου με τον πόλο της μηχανής Wimshurst στον οποίο συνέδεσα τον θύσανο. Οι κλωστές έχοντας το ..... είδος φορτίου ..... μεταξύ τους και επομένως δεν διασταυρώνονται.

Η διάταξη των κλωστών δίνει μια οπτική αίσθηση του ..... πεδίου, γύρω από το σημειακό φορτίο που εμφανίζεται στην κορυφή του θυσάνου.

Οι κλωστές είναι πιο πυκνές ..... στην κορυφή. Εκεί είναι και οι ηλεκτροστατικές ..... ισχυρότερες, γιατί είναι πιο κοντά στο φορτίο.



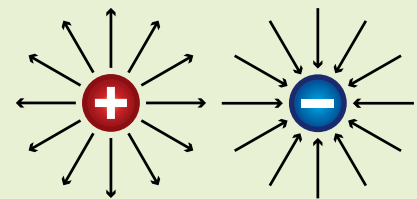
## Απεικόνιση Ηλεκτρικού Πεδίου

Οι κλωστές του θυσάνου προσανατολίζονται με τον τρόπο που επιβάλλουν οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις που ασκούνται επάνω τους. Ο Faraday την τρίτη δεκαετία του 19ου αιώνα σχεδίασε μερικές αντιπροσωπευτικές γραμμές, με αφετηρία το φορτίο ή τα φορτία που δημιουργούν το ηλεκτρικό πεδίο και αποτύπωσε στο χαρτί μια απεικόνιση του ηλεκτρικού πεδίου. Ονόμασε τις γραμμές αυτές **δυναμικές γραμμές**.

Στην πραγματικότητα τέτοιες γραμμές δεν υπάρχουν. Δεν είναι γραμμές, ούτε και κλωστές. Όμως μας βοηθούν να καταλάβουμε την κατεύθυνση των ηλεκτρικών δυνάμεων που ασκούνται σε ένα σχετικά μικρό ηλεκτρικό φορτίο, αν αυτό τοποθετηθεί μέσα στο πεδίο, άρα και τον τρόπο με τον οποίο θα κινηθεί μέσα σε αυτό λόγω της δράσης της ηλεκτρικής δύναμης.

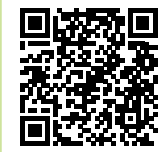
Οι ιδιότητες των δυναμικών γραμμών είναι:

- Είναι πιο πυκνές εκεί που οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις είναι ισχυρότερες.
- Μας δείχνουν την κατεύθυνση των δυνάμεων.
- Δεν τέμνονται μεταξύ τους.
- Η φορά των δυναμικών γραμμών καθορίζεται από την κατεύθυνση της ηλεκτρικής δύναμης που ασκείται σε ένα μικρό θετικό φορτίο μέσα στο πεδίο. Έτσι ξεκινούν, κατά σύμβαση, από τα θετικά φορτία και καταλήγουν στα αρνητικά.



**Εικόνα 1.3.15:** Οι ηλεκτρικές δυναμικές γραμμές γύρω από ένα θετικό και ένα αρνητικό σημειακό φορτίο.

Εξάσκηση με την απεικόνιση του ηλεκτρικού πεδίου γύρω από σημειακό φορτίο μπορεί να γίνει με την προσομοίωση.



### Πρακτική δραστηριότητα:



Είναι δυνατό να γίνει απεικόνιση άλλων μορφών ηλεκτρικού πεδίου;



**Φόρτισε δύο ηλεκτρικούς θυσάνους** με ετερόσημο ηλεκτρικό φορτίο συνδέοντάς τους με τους πόλους της μηχανής Wimshurst και ενεργοποιώντας την. Αυξομείωσε την απόσταση των θυσάνων ώστε να μην ακουμπούν οι κλωστές τους.

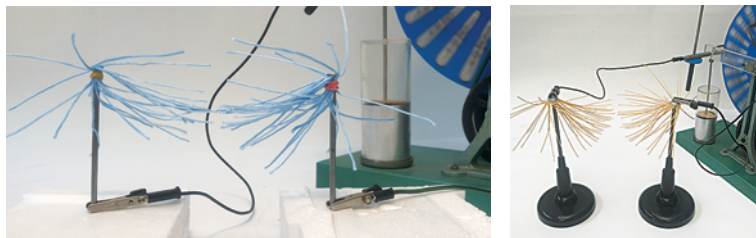
Τι παρατηρείς; .....

.....

**Σχεδίασε** τη μορφή του πεδίου, με τη βοήθεια των δυναμικών γραμμών, ανάμεσα στα φορτία.



**Βίντεο 1.3.3:** Θύσανοι συνδεδεμένοι στους πόλους της μηχανής Wimshurst



Εικόνα 1.3.16: Απεικόνιση ηλεκτρικού πεδίου δύο ετερόσημων σημειακών φορτίων με θυσάνους.



Στα σημεία κοντά στα φορτία οι δυναμικές γραμμές είναι ..... και οι δυνάμεις που ασκούνται .....

Οι δυναμικές γραμμές φανερώνουν την κατεύθυνση της ηλεκτρικής ..... στο πεδίο.



**Φόρτισε δύο ηλεκτρικούς θυσάνους** με ομόσημο ηλεκτρικό φορτίο συνδέοντάς τους στον ίδιο πόλο της μηχανής Wimshurst και ενεργοποίησέ την.

Τι παρατηρείς; .....

.....

**Σχεδιάσε** τη μορφή του πεδίου, με τη βοήθεια των δυναμικών γραμμών, ανάμεσα στα φορτία.



Βίντεο 1.3.4:  
Δύο θύσανοι συνδεδεμένοι στον ίδιο πόλο της μηχανής Wimshurst



Οι δυναμικές γραμμές φανερώνουν την κατεύθυνση της ..... στο πεδίο, η οποία είναι .....

Εξάσκηση, με την απεικόνιση του ηλεκτρικού πεδίου δύο σημειακών φορτίων, μπορεί να γίνει με την προσομοίωση.



**Τι μορφή έχει το ηλεκτρικό πεδίο ανάμεσα σε δύο παράλληλους επίπεδους και φορτισμένους με αντίθετα φορτία αγωγούς, αν το απεικονίσουμε με δυναμικές γραμμές;**

ΑΚΤΙΝΙΚΟ

ΠΑΡΑΛΛΗΛΕΣ  
ΓΡΑΜΜΕΣ

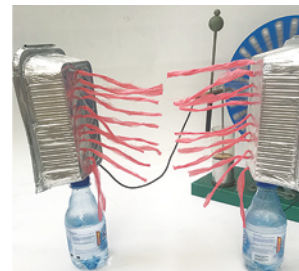
ΚΑΜΠΥΛΕΣ  
ΓΡΑΜΜΕΣ



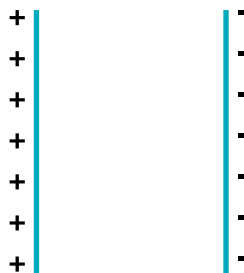
**Τοποθέτησε** τους ηλεκτρικούς θυσάνους σε επίπεδο μεταλλικό αγωγό αντικριστά και φόρτισέ τους με ετερόσημα φορτία συνδέοντάς τους στους πόλους της μηχανής Wimshurst. Τι παρατηρείς;

.....

**Σχεδιάσε** τη μορφή του πεδίου, με τη βοήθεια των δυναμικών γραμμών, ανάμεσα στους δύο μεταλλικούς αγωγούς.



Εικόνα 1.3.17: Απεικόνιση ηλεκτρικού πεδίου επίπεδων μεταλλικών αγωγών.



Βίντεο 1.3.5: Επίπεδοι αγωγοί συνδεδεμένοι με τους πόλους της μηχανής Wimshurst.



Οι ..... γραμμές είναι παράλληλες και ισαπέχουν. Φανερώνουν ότι το ηλεκτρικό πεδίο είναι το ίδιο ισχυρό, σε κάθε ..... μέσα στο πεδίο ανάμεσα στους αγωγούς. Η κατεύθυνση των δυναμικών γραμμών είναι από το ..... αγωγό στον .....



## Ομογενές Ηλεκτρικό Πεδίο

Ένα ηλεκτρικό πεδίο στο οποίο οι δυναμικές γραμμές είναι παράλληλες και ισαπέχουν ονομάζεται **ομογενές ηλεκτρικό πεδίο**. Σε όποιο σημείο του πεδίου αυτού και αν φέρουμε ένα μικρό σημειακό φορτίο, θα δεχτεί την ίδια ακριβώς δύναμη.



Βίντεο 1.3.6: Εικόνες πεδίων.

Κινείται;

### Πρακτική δραστηριότητα:



Τι συμβαίνει όταν κρεμάς μια αγωγή, αφόρτιστη αιωρούμενη σφαίρα μέσα σε ομογενές ηλεκτρικό πεδίο;



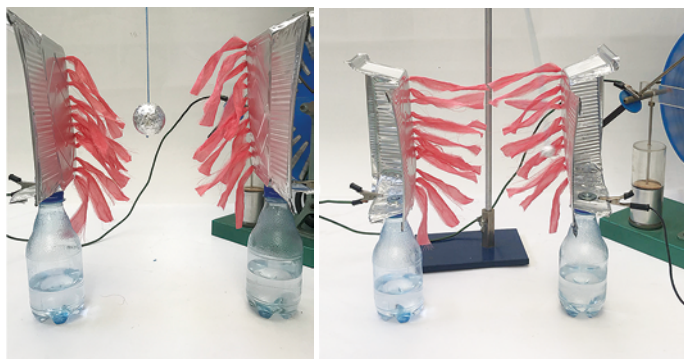
Σύνδεσε, σε καθέναν από τους πόλους της μηχανής Wimshurst, τους θυσάνους σε επίπεδο αγωγό. Κρέμασε ανάμεσά τους την αιωρούμενη αγωγή σφαίρα, όπως στην εικόνα 1.3.18.

Θέσε σε λειτουργία τη μηχανή Wimshurst και παρακολούθησε την κίνηση της μπάλας.

Παραμένει στη θέση που την άφησες;



Βίντεο 1.3.7: Κίνηση σε ομογενές ηλεκτρικό πεδίο



Εικόνα 1.3.18: Αρχικά η αγωγή σφαίρα ηλεκτρίζεται εξ επαγωγής και έλκεται από τον έναν πόλο της μηχανής, έστω τον θετικό. Όταν έρθει σε επαφή με τον θετικό αγωγό, φορτίζεται θετικά, απωθείται από αυτόν και έλκεται από τον αρνητικό. Αλλάζει κατεύθυνση για να έρθει σε επαφή με τον αρνητικό αγωγό και να φορτιστεί αρνητικά, οπότε απωθείται από τον αρνητικό αγωγό και έλκεται από τον θετικό αγωγό. Αλλάζει πάλι κατεύθυνση και η κίνηση επαναλαμβάνεται.



Αν αφήσω ελεύθερο ένα φορτίο μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο, το φορτίο .....γιατί του ασκείται ..... από το πεδίο που του μεταβάλλει την κινητική του κατάσταση.

## Ηλεκτρική δυναμική ενέργεια

### Πρακτική δραστηριότητα:



Πόσο εύκολο είναι να εμφανιστεί ή να εξαφανιστεί ένα ηλεκτρικό πεδίο;



Φόρτισε και κρέμασε μία μία τις αιωρούμενες ράβδους, τρίβοντάς τις με χαρτί κουζίνας. Κάθε φορά που κρεμάς μία ράβδο τι παρατηρείς;

.....  
 .....  
 .....

Πλησίασε έναν αναμμένο αναπτήρα στο κέντρο, κάτω από τις φορτισμένες ράβδους, προσέχοντας να μην τις ακουμπήσει η φλόγα. Τι συμβαίνει;

.....  
 .....  
 .....



Ηλεκτρικό πεδίο εμφανίζεται γύρω από το ηλεκτρικό φορτίο μιας ράβδου και ..... κάθε φορά που νέα φορτία τοποθετούνται στον χώρο (νέα ράβδος). Η ενέργεια που δίνουμε για να τοποθετήσουμε τις ράβδους στις νέες θέσεις ..... στο σύστημα των ράβδων και είναι μορφή ..... ενέργειας.

Πλησιάζοντας τον αναμμένο αναπτήρα, ..... φορτία έρχονται σε επαφή με την αρνητικά φορτισμένη επιφάνεια της ράβδου και οι ράβδοι ..... Το ηλεκτρικό ..... παύει να υπάρχει.

### Πρακτική δραστηριότητα:



Για να φορτίσεις μια ράβδο με τριβή καταναλώνεις ενέργεια. Η ενέργεια αυτή αποθηκεύεται με κάποιον τρόπο;



αφόρτιστες

φορτισμένες

Εικόνα 1.3.19: Κρεμασμένες ράβδοι φελιζόλ.





**Φόρτισε τη σταθερή ράβδο με τριβή.** Έδωσες ενέργεια για να φορτίσεις τη ράβδο; .....

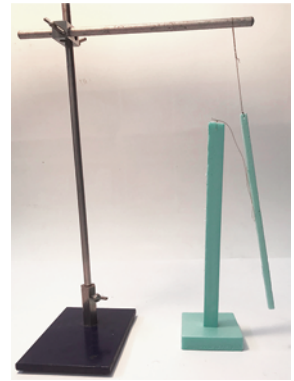
Με ποιον τρόπο; .....

**Φόρτισε** και κρέμασε δίπλα στην πρώτη, μία δεύτερη ράβδο από φελιζόλ.

Πώς επιδρά το ηλεκτρικό πεδίο της ακίνητης ράβδου στη δεύτερη φορτισμένη ράβδο; .....

**Προσπάθησε** να φέρεις πιο κοντά τις δύο ράβδους, σπρώχνοντας τη δεύτερη με ένα καλαμάκι. Τι νιώθεις;

.....



**Εικόνα 1.3.20:** Μια δεύτερη φορτισμένη ράβδος φελιζόλ κρεμασμένη δίπλα στην πρώτη.



Η ενέργεια που δίνω για τη φόρτιση της ράβδου είναι η ενέργεια για τη δημιουργία του ..... της φορτισμένης ράβδου που αποτελεί την πηγή του ηλεκτρικού πεδίου.

Όταν μια δεύτερη φορτισμένη ράβδος τοποθετηθεί μέσα στο ηλεκτρικό πεδίο της πρώτης, δέχεται ..... από αυτό.

Μετακινώντας τη δεύτερη ράβδο κοντά στην πρώτη, ασκώ ..... και προσφέρω ..... που αποθηκεύεται στο ηλεκτρικό πεδίο. Η αποθηκευμένη ενέργεια ηλεκτρικού πεδίου είναι ενέργεια λόγω θέσης-κατάστασης. Άρα είναι μορφή ..... ενέργειας. Η ενέργεια αυτή αποδίδεται κατά την επιστροφή της ράβδου στη θέση της.

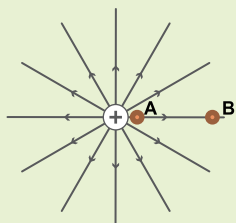


## Βαρυτική δυναμική ενέργεια

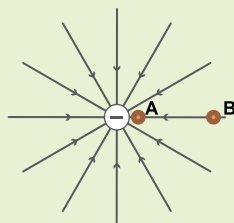
Από την εμπειρία μας γνωρίζουμε ότι κάθε σώμα μέσα στο βαρυτικό πεδίο κινείται υπό την επίδραση του βάρους του, πάντα, από σημεία που βρίσκονται σε μεγαλύτερο ύψος προς σημεία χαμηλότερου ύψους.

Ένας ποδηλάτης, αν αφηθεί να κινηθεί υπό την επίδραση του βάρους του, από ένα ύψωμα προς τη βάση του, στη βάση έχει αποκτήσει κινητική ενέργεια, τόση όσο το έργο του βάρους κατά τη διαδρομή του. Αν ο ποδηλάτης πατάει το φρένο, έτσι ώστε στη βάση του λόφου να μην έχει ταχύτητα, αυτή η κινητική ενέργεια μεταμορφώνεται σε θερμική στα φρένα του ποδηλάτου.

Αν ο ποδηλάτης επιθυμεί να επιστρέψει στο ύψωμα, θα δώσει ενέργεια. Η ενέργεια αυτή θα είναι ίση με τη δυναμική του ενέργεια στην κορυφή του υψώματος.



**Εικόνα 1.3.21:** Πεδίο θετικού σημειακού φορτίου.



**Εικόνα 1.3.22:** Πεδίο αρνητικού σημειακού φορτίου.

## Ηλεκτρική δυναμική ενέργεια

Μια βασική διαφορά ανάμεσα στη βαρύτητα και στον στατικό ηλεκτρισμό είναι το γεγονός ότι στη βαρύτητα οι δυνάμεις είναι πάντα ελκτικές, ενώ στον ηλεκτρισμό οι δυνάμεις μπορεί να είναι είτε ελκτικές είτε απωστικές.

Έστω ότι η πηγή του πεδίου είναι ένα θετικό φορτίο (εικόνα 1.3.21). Ένα μικρό, σημειακό, θετικό φορτίο, απωθείται από το πεδίο.

Για να τοποθετήσουμε, σε ένα σημείο του πεδίου, ένα θετικά φορτισμένο σωματίδιο, θα πρέπει να υπερνικήσουμε τις απωστικές δυνάμεις του πεδίου, δίνοντας ενέργεια η οποία αποθηκεύεται στο σωματίδιο και λέγεται **δυναμική ηλεκτρική ενέργεια**. Το πόσο μεγάλη είναι η δυναμική ενέργεια εξαρτάται από το πόσο ισχυρό είναι το πεδίο, καθώς και το μέγεθος του φορτίου που μεταφέρεται, όπως επίσης και από το πόσο κοντά στην πηγή εγκαταστάθηκε το φορτίο.

Αν αφήσουμε το σωματίδιο ελεύθερο να μετακινηθεί από ένα σημείο A σε ένα άλλο σημείο B του πεδίου, δυναμική ενέργεια μεταμορφώνεται σε κινητική, μέσω του έργου της δύναμης του πεδίου. Επομένως, η κινητική ενέργεια στο σημείο B ισούται με τη διαφορά των δυναμικών ενεργειών των σημείων A και B.

Αν όμως η πηγή του πεδίου είναι ένα αρνητικό φορτίο (εικόνα 1.3.22), ένα μικρό, σημειακό, θετικό φορτίο, έλκεται από το πεδίο.

Αφήνοντας ένα θετικά φορτισμένο σωματίδιο στο σημείο B, θα κινηθεί προς το A και μέρος της δυναμικής ενέργειάς του θα μεταμορφωθεί σε κινητική μέσω του έργου της δύναμης του πεδίου. Για να επιστρέψει στη θέση B, θα πρέπει να του προσφέρουμε την ενέργεια αυτή.

Η δυναμική ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να πάρει και θετικές και αρνητικές τιμές!

Ορίζουμε ως **διαφορά δυναμικού**  $V_{AB}$  το φυσικό μέγεθος που μας δίνει την ενέργεια του πεδίου για να μετακινηθεί μία μονάδα φορτίου από το σημείο A στο σημείο B.

Δηλαδή η διαφορά δυναμικού  $V_{AB}$  μεταξύ δύο σημείων του πεδίου A και B, αν πολλαπλασιαστεί με το φορτίο που μετακινήθηκε ανάμεσα στα δύο σημεία, μας δείχνει πόσο μεταβλήθηκε η δυναμική ενέργεια.

$$U_A - U_B = W_{AB} = V_{AB} q \quad (1.3.1)$$

Στο S.I. η μονάδα διαφοράς δυναμικού είναι το 1Volt (1V):

$$1\text{Volt} = \frac{1\text{Joule}}{1\text{Coulomb}} \quad (1.3.2)$$

**Παράδειγμα 1:** Μια μπαταρία, στους πόλους της οποίας επικρατεί διαφορά δυναμικού 12 V, δίνει ενέργεια 12 Joule σε κάθε 1 C φορτίου που διέρχεται από αυτή.

**Παράδειγμα 2:** Έστω ότι η διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο σημείων A και B ενός ηλεκτρικού πεδίου είναι 10 V και ένα φορτίο 2 C κινήθηκε από το A στο B. Για να πραγματοποιηθεί η κίνηση απαιτείται ενέργεια 20 J, οπότε και η μεταβολή της δυναμικής ενέργειας του φορτίου είναι 20 J.

Κάνε ένα ταξίδι στον χρόνο για να μάθεις πώς οι επιστήμονες του 19ου αιώνα οδηγήθηκαν στην εισαγωγή της διαφοράς δυναμικού.



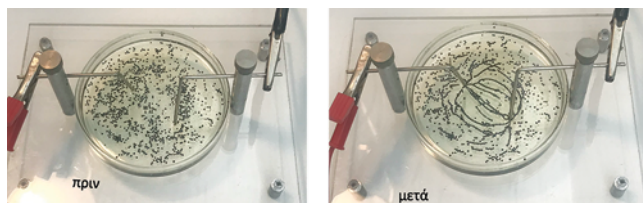
Εξάσκηση, με την κίνηση φορτισμένου σωματιδίου σε ηλεκτρικό πεδίο, μπορεί να γίνει με την προσομοίωση.



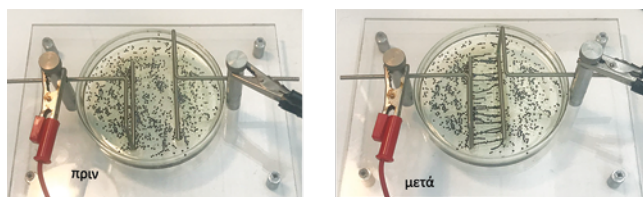


## Διεπιστημονικές – Διαθεματικές Εφαρμογές της Θεωρίας, Γενίκευση, Εμπέδωση, Ερμηνείες με τον μικρόκοσμο

Είναι δυνατόν να απεικονίσουμε το ηλεκτρικό πεδίο συνδέοντας τους πόλους της μηχανής Wimshurst με μεταλλικούς αγωγούς κατάλληλων σχημάτων, βυθισμένων σε ρετσινόλαδο, στο οποίο ρίχνουμε μικρούς σπόρους, όπως βλέπουμε στις εικόνες παρακάτω.

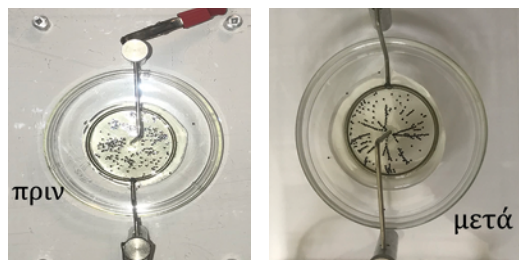


**Εικόνα 1.3.23:** Απεικόνιση ηλεκτρικού πεδίου δύο σημειακών φορτίων με σπόρους βλίτου και δύο μεταλλικές ακίδες συνδεδεμένες με τη μηχανή Wimshurst.



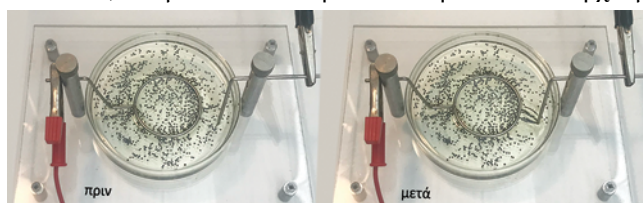
**Εικόνα 1.3.24:** Απεικόνιση ηλεκτρικού πεδίου παράλληλων αγωγών με σπόρους βλίτου και δύο μεταλλικούς αγωγούς συνδεδεμένους με τη μηχανή Wimshurst

Συνδέοντας στους πόλους της μηχανής Wimshurst με μεταλλική ακίδα και ένα μεταλλικό στεφάνι βυθισμένα σε ρετσινόλαδο, στο οποίο έχουμε ρίξει σπόρους βλίτου, παρατηρούμε ότι οι διάσπαρτοι σπόροι διατάσσονται ακτινωτά.



**Εικόνα 1.3.25:** Οι πόλοι της μηχανής Wimshurst συνδέονται με μια ακίδα και ένα μεταλλικό στεφάνι, ανάμεσα στα οποία υπάρχουν σπόροι βλίτου και ρετσινόλαδο.

Επαναλαμβάνοντας με την ακίδα έξω από το στεφάνι παρατηρούμε ότι στο εσωτερικό του μεταλλικού στεφανιού οι σπόροι παραμένουν στις αρχικές τους θέσεις. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο εκεί. Αντίθετα, ανάμεσα στο στεφάνι και την ακίδα υπάρχει μετακίνηση σπόρων.



**Εικόνα 1.3.26:** Αν η ακίδα βρίσκεται έξω από το μεταλλικό στεφάνι, οι σπόροι στο εσωτερικό του στεφανιού δε μετακινούνται.



**Βίντεο 1.3.8:**  
Απεικόνιση πεδίου αντίθετων σημειακών φορτίων με σπόρους



**Βίντεο 1.3.9:**  
Απεικόνιση ομογενούς ηλεκτρικού πεδίου με σπόρους



**Βίντεο 1.3.10:**  
Απεικόνιση ηλεκτρικού πεδίου σημειακού φορτίου με σπόρους



**Βίντεο 1.3.11:** Κλωβός Faraday με σπόρους σε ρετσινόλαδο

### 1. Ηλεκτρική Θωράκιση

Το 1755 ο Benjamin Franklin παρατήρησε για πρώτη φορά την απουσία πεδίου στο εσωτερικό μεταλλικού φλοιού.

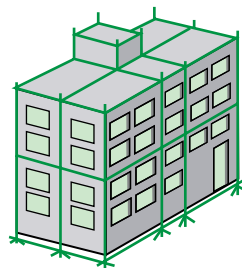
Το 1836 ο Michael Faraday (Μάικλ Φάραντεϊ), για να προστατέψει τις διατάξεις του εργαστηρίου του από ισχυρά ηλεκτρικά πεδία, κατασκεύασε ένα μεταλλικό πλέγμα γύρω από αυτές. Το πλέγμα αυτό χρησιμοποιείται πλέον κάθε φορά που απαιτείται να προστατευτούν συστήματα από εξωτερικά ηλεκτρικά πεδία και ονομάζεται κλωβός Faraday.

Όταν κεραυνός χτυπά ένα αυτοκίνητο, οι επιβάτες προστατεύονται γιατί το αμάξωμά του είναι μεταλλικό και λειτουργεί ως κλωβός Faraday. Αν και εξωτερικά το ηλεκτρικό πεδίο είναι πολύ ισχυρό, στο εσωτερικό δεν υπάρχει πεδίο. Σχεδόν αμέσως θα ξεσπάσει σπινθήρας μεταξύ αυτοκινήτου και Γης, στο πιο χαμηλό σημείο του αυτοκινήτου, και θα εκφορτιστεί.

Σήμερα, μεγάλα κτίρια, γέφυρες, ακόμα και οι πυλώνες της ΔΕΗ, προστατεύονται με κλωβούς Faraday.



Εικόνα 1.3.27: Κεραυνός σε αυτοκίνητο.



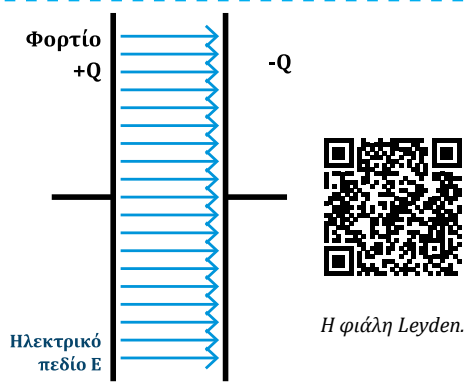
Εικόνα 1.3.28: Το μεταλλικό πλέγμα στο κτίριο αποτελεί κλωβό Faraday.

### 2. Αποθήκες φορτίου – Πυκνωτές

Κάθε πυκνωτής αποτελείται από δύο κομμάτια μέταλλο που βρίσκονται πολύ κοντά, χωρίς όμως να ακουμπάνε. Όταν φορτίζονται οι δύο αγωγοί, οι οποίοι ονομάζονται οπλισμοί, αποκτούν ίσα και αντίθετα φορτία. Η έλξη ανάμεσα στα ίσα και αντίθετα φορτία είναι που κάνει έναν πυκνωτή να λειτουργεί ως αποθήκη ηλεκτρικού φορτίου, αλλά και ηλεκτρικής ενέργειας.

Το ηλεκτρικό πεδίο μέσα σε έναν πυκνωτή με παράλληλους οπλισμούς είναι ομογενές.

Ένας πυκνωτής είναι υπεύθυνος για την αλλαγή των σταθμών στο ραδιόφωνο, αλλά και η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών, με τη μορφή που γνωρίζουμε σήμερα, δεν θα ήταν δυνατή χωρίς τη χρήση πυκνωτών.



Η φιάλη Leyden.

Εικόνα 1.3.29: Το ηλεκτρικό πεδίο σε πυκνωτή με παράλληλους οπλισμούς.

### 3. Πώς λειτουργεί η σφαίρα πλάσματος;

Στη Φυσική, το πλάσμα αναφέρεται ως η τέταρτη κατάσταση της ύλης, μετά τα στερεά, τα υγρά και τα αέρια. Πρόκειται για μια «σούπα» που αποτελείται από άτομα που έχασαν τα ηλεκτρόνια τους, μαζί με τα ηλεκτρόνια αυτά. Ένα κοινό παράδειγμα πλάσματος είναι ο κεραυνός.

Η σφαίρα πλάσματος είναι μια παχιά γυάλινη σφαίρα με ηλεκτρική σύνδεση. Στο εσωτερικό της υπάρχει ένα μείγμα αερίων. Όταν τη θέσουμε σε λειτουργία, δημιουργείται ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο στο εσωτερικό της, το οποίο μεταβάλλεται με τον χρόνο. Αυτό κάνει το αέριο να ζεσταθεί και ηλεκτρόνια να φύγουν από τα άτομα του. Έχουμε λοιπόν ένα αέριο πλάσματος, το οποίο μάλιστα είναι πολύ καλός αγωγός, διότι διαθέτει ελεύθερα ηλεκτρικά φορτία. Έτσι φορτία κινούνται συνεχώς από το κέντρο προς την επιφάνεια, δημιουργώντας μικρές ηλεκτρικές εκκενώσεις.



Εικόνα 1.3.30: Ηλεκτρικές εκκενώσεις σε σφαίρα πλάσματος.

Αν αγγίξουμε τη σφαίρα με το χέρι μας, όλες οι δέσμες ροής φορτίου ενώνονται σε



Βίντεο 1.3.12: Αγγίζοντας τις κλωστές του θυσανού.

μία, γιατί το ανθρώπινο σώμα είναι πολύ καλύτερος αγωγός από τον αέρα και βοηθά τη σφαίρα να εκφορτιστεί. Το ίδιο ακριβώς συμβαίνει όταν αγγίζουμε τις κλωστές ενός ηλεκτρικού θύσανου, φορτισμένου με τη μηχανή Wimshurst.

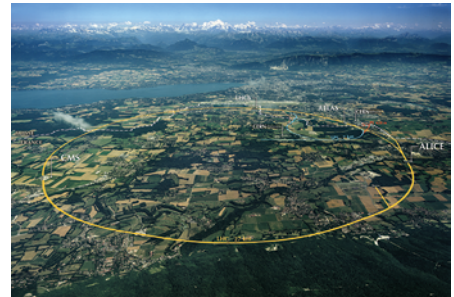
#### 4. Επιτάχυνση σωματιδίων

Από το 1928 και τον Rutherford έως σήμερα στο CERN, σπουδαίες ανακαλύψεις της Φυσικής έχουν γίνει με την επιτάχυνση φορτισμένων σωματιδίων, τα οποία στη συνέχεια συγκρούονται.

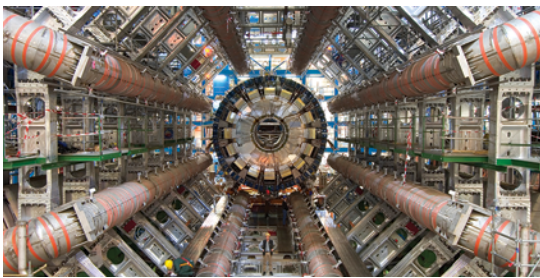


Βίντεο 1.3.13: Επιτάχυνση αγωγικής σφαίρας.

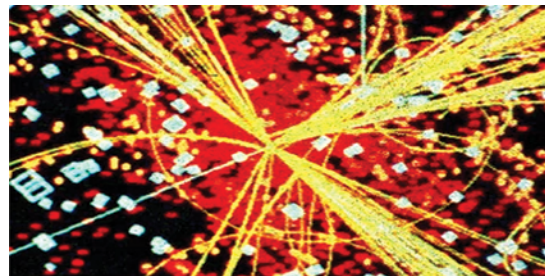
Όλοι οι επιταχυντές αξιοποιούν ηλεκτρικά πεδία για την επιτάχυνση φορτισμένων σωματιδίων (ηλεκτρονίων, πρωτονίων ή βαρύτερων ιόντων) σε υψηλές ενέργειες.



Εικόνα 1.3.31: Η κίτρινη γραμμή δείχνει την 27 km σήραγγα του επιταχυντή LHC του CERN, η οποία βρίσκεται κάτω από τη Γη, σε μέσο βάθος 100 m.



Εικόνα 1.3.32: Ανιχνευτής στο εσωτερικό του επιταχυντή.



Εικόνα 1.3.33: Προσομοίωση σε υπολογιστή της σύγκρουσης σωματιδίων.

### Εννοιολογικός Χάρτης



### Ενότητας 1.3

#### Ερωτήσεις

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

Σε έναν χώρο στον οποίο όταν εισάγεται ένα σώμα ασκούνται σε αυτό ..... λέμε ότι υπάρχει ένα ..... δυνάμεων. Γύρω από ένα ηλεκτρισμένο ή φορτισμένο σώμα υπάρχει πεδίο ..... δυνάμεων το οποίο ονομάζουμε ..... πεδίο. Το πεδίο περιγράφεται από τις ..... γραμμές. Όταν  $s'$  ένα πεδίο αυτές είναι ευθείες και ισαπέχουσες, λέμε ότι είναι .....

2. Με ποιον τρόπο μπορείς να διαπιστώσεις αν  $s'$  έναν χώρο υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο;

3. Ερωτήσεις για τις ηλεκτρικές δυναμικές γραμμές.



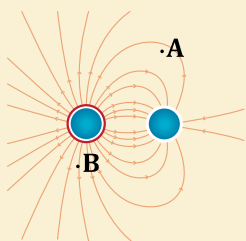
4. Να συμπληρωθούν οι λέξεις που λείπουν από το παρακάτω κείμενο έτσι ώστε οι προτάσεις που προκύπτουν να είναι επιστημονικά ορθές:

Χρησιμοποιούμε ηλεκτρικές δυναμικές γραμμές για να απεικονίσουμε το ..... . Στις πε-

ριοχές που οι γραμμές είναι ..... το πεδίο είναι ασθενές, ενώ στις περιοχές που οι γραμμές είναι πυκνές, το πεδίο είναι ..... Οι ηλεκτρικές δυναμικές γραμμές ξεκινούν από τα ..... και καταλήγουν στα ..... φορτία.

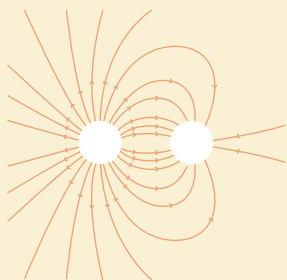
5. Σε ποιο από τα σημεία A και B της παρακάτω εικόνας το πεδίο είναι ισχυρότερο;

- i. Στο A.
- ii. Στο B.
- iii. Είναι το ίδιο ισχυρό και στα δύο σημεία.

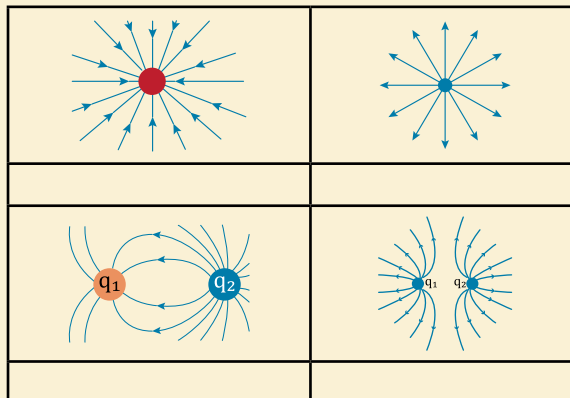


6. Ποια είναι η σωστή απάντηση για τα φορτία που δημιουργούν το ηλεκτρικό πεδίο του παρακάτω σχήματος:

- i. Είναι δύο ίσα θετικά φορτία.
- ii. Είναι δύο ίσα και ετερόσημα ηλεκτρικά φορτία.
- iii. Είναι δύο ετερόσημα ηλεκτρικά φορτία και το θετικό είναι μεγαλύτερο.
- iv. Είναι δύο ετερόσημα ηλεκτρικά φορτία και το αρνητικό είναι μεγαλύτερο.
- v. Είναι δύο αρνητικά φορτία και το αριστερό είναι μεγαλύτερο.



7. Βάλτε τη σωστή λεζάντα σε κάθε εικόνα.



- i. Πεδίο αρνητικού φορτίου.
- ii. Πεδίο δύο ετερόσημων φορτίων.
- iii. Πεδίο δύο θετικών φορτίων.
- iv. Πεδίο δύο αρνητικών φορτίων.
- v. Πεδίο θετικού φορτίου.

8. Πώς ορίζεται η διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο σημείων σε ηλεκτρικό πεδίο;

9. Να συμπληρωθούν οι λέξεις που λείπουν από το παρακάτω κείμενο έτσι ώστε οι προτάσεις που προκύπτουν να είναι επιστημονικά ορθές:

Η διαφορά ..... δείχνει τη μεταβολή της ..... ενός φορτίου, όταν μετακινείται μεταξύ δύο σημείων μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο. Η μονάδα μέτρησής της είναι το 1 ..... και σημαίνει πως όταν φορτίο 1C μετακινείται μεταξύ δύο σημείων του πεδίου με διαφορά δυναμικού 1 ....., η μεταβολή της δυναμικής ενέργειας είναι 1 .....

10. Αν κρεμάσεις μια σφαίρα φελιζόλ, τυλιγμένη με αλουμινόχαρτο, ανάμεσα στους πόλους της μηχανής Wimshurst και τη θέσεις σε λειτουργία, η σφαίρα θ' αρχίσει να κινείται από τον έναν πόλο της μηχανής στον άλλο. Απάντησε στις ερωτήσεις στον σύνδεσμο.



### 11. Μερικά από τα μέτρα αυτοπροστασίας από τους κεραυνούς, σύμφωνα με τη Γ.Γ.Π.Π., είναι: «Όταν υπάρχει προειδοποίηση για καταιγίδα:

- Βρείτε αμέσως ένα ασφαλές καταφύγιο σε κτίριο ή αυτοκίνητο και κλείστε τα παράθυρα.

#### Κατά τη διάρκεια της καταιγίδας:

- Μείνετε μακριά από μεταλλικά αντικείμενα.
- Μείνετε μακριά από ηλεκτρικές συσκευές (ακόμα και από το ψυγείο!), γιατί ο κεραυνός μπορεί να περάσει μέσα στο σπίτι από τα καλώδια του ηλεκτρικού ρεύματος.
- Βγάλτε τις συσκευές από την πρίζα.
- Αποφύγετε να χρησιμοποιείτε το τηλέφωνο, γιατί ο κεραυνός μπορεί να περάσει μέσα από την τηλεφωνική γραμμή και να σας χτυπήσει. Όσο για τα κινητά τηλέφωνα, αυτά δεν συνδέονται με καλώδια, αλλά μπορεί ο κεραυνός να δημιουργήσει δυνατό θόρυβο που θα προκαλέσει ζημιά στο αυτί σας.
- Μην κάνετε μπάνιο και μην πλένετε άλλα αντικείμενα.
- Ο κεραυνός μπορεί να περάσει επίσης στο σπίτι και από τα μεταλλικά τζάκια και τις μεταλλικές καπνοδόχους.

#### Αν σας βρει η καταιγίδα στο ύπαιθρο πρέπει να δράσετε αμέσως:

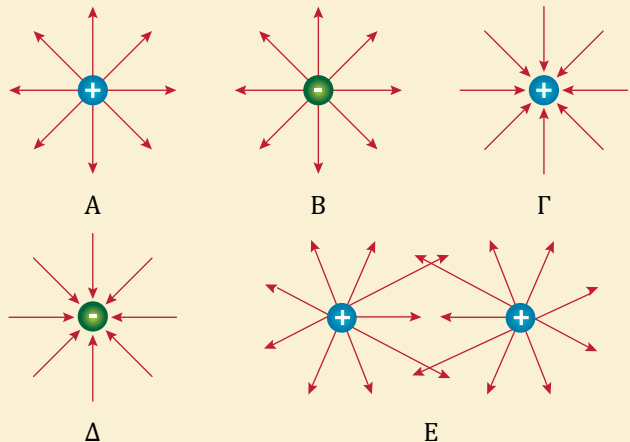
- Αν είστε έξω με τους φίλους σας και δείτε τα μαλλιά τους να ανασηκώνονται ή νιώσετε στο δέρμα σας τσιμπήματα, αυτό σημαίνει ότι είστε σε κίνδυνο, γιατί ηλεκτρικό φορτίο συγκεντρώνεται κάπου κοντά σας. Ο κεραυνός μπορεί να χτυπήσει από στιγμή σε στιγμή.
- Μην πηγαίνετε κάτω από δέντρα για καταφύγιο, γιατί μπορεί ο κεραυνός να χτυπήσει το δέντρο ή να περάσει από το δέντρο και να σας χτυπήσει.
- Αν είστε στο δάσος και δεν προλαβαίνετε να μετακινηθείτε σε πιο ασφαλή περιοχή, βρείτε καταφύγιο κάτω από τα πιο χαμηλά δέντρα.
- Αν μπορείτε, πηγαίνετε σε χαμηλό ανοιχτό μέρος μακριά από δέντρα ή μεταλλικά αντικείμενα.
- Προσπαθήστε να είστε όσο πιο μικρός στόχος γίνεται.
- Μην ξαπλώσετε εντελώς στο έδαφος γιατί θα γίνετε μεγαλύτερος στόχος.
- Αν δεν μπορείτε να βρείτε καταφύγιο, τότε πάρτε

τη «θέση προστασίας από κεραυνό» δηλαδή καθίστε έτσι ώστε να ακουμπούν στο έδαφος μόνο τα δάκτυλα των ποδιών με τις φτέρνες ψηλά και ενωμένες και με τα χέρια σας καλύψτε το κεφάλι στο ύψος των αυτιών.

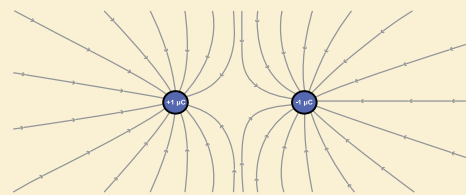
Έχοντας μελετήσει και τις τρεις παραγράφους του στατικού ηλεκτρισμού, προσπάθησε να δώσεις στις παραπάνω οδηγίες επιστημονική εξήγηση.

### Ασκήσεις

1. Ποιες από τις απεικονίσεις ηλεκτρικού πεδίου A, B, Γ, Δ και E είναι σωστές;



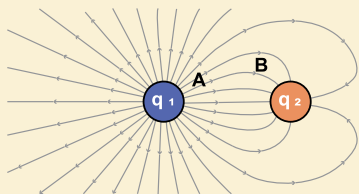
2. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η απεικόνιση του πεδίου μεταξύ δύο αρνητικά φορτισμένων σφαιρών. Στο πεδίο αυτό υπάρχει περιοχή στην οποία δεν δρουν ηλεκτρικές δυνάμεις;



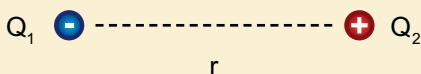
3. Ποια από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι σωστή για το πεδίο της εικόνας;

- Ένα φορτίο θετικό που τοποθετείται στο σημείο B θα κινηθεί προς το A.
- Ένα φορτίο αρνητικό που τοποθετείται στο B θα κινηθεί προς το A.
- Ένα φορτίο αρνητικό που τοποθετείται στο B θα μείνει ακίνητο.

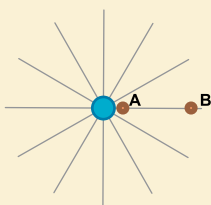
Εξήγησε την επιλογή σου.



4. Να σχεδιαστούν οι δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου αν γνωρίζουμε πως  $Q_1 = -Q_2$

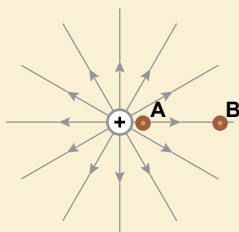


5. Αν τοποθετήσουμε ένα αρνητικό φορτίο στο B, αυτό θα κινηθεί προς το A. Βρες το είδος του φορτίου στο κέντρο, σχεδίασε την κατεύθυνση των δυναμικών γραμμών και τη δύναμη που δέχεται.



6. Θετικό φορτίο 2 C τοποθετημένο στο A κινείται προς το B όπως φαίνεται στην εικόνα. Αν η διαφορά δυναμικού  $V_{AB}$  είναι 10 V, τι από τα παρακάτω ισχύει;

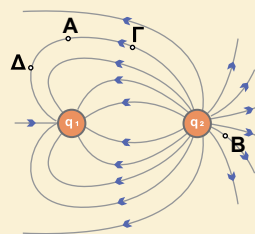
- i. Η δυναμική του ενέργεια αυξάνεται κατά 20 J.
- ii. Η δυναμική ενέργεια μειώνεται κατά 20 J.
- iii. Η δυναμική ενέργεια μειώνεται κατά 10 J.
- iv. Η δυναμική του ενέργεια αυξάνεται κατά 10 J.



### Προβλήματα

1. Ανάμεσα στα φορτία  $q_1$  και  $q_2$  προκύπτουν οι ηλεκτρικές δυναμικές γραμμές που φαίνονται στην εικόνα.

- i. Ποιο από τα δύο φορτία είναι θετικό και ποιο αρνητικό;
- ii. Ποιο από τα δύο φορτία είναι μεγαλύτερο;
- iii. Αν στο σημείο A τοποθετηθεί αρνητικό φορτίο, θα κινηθεί προς το Δ ή το Γ; Εξήγησε τον συλλογισμό σου.
- iv. Στο σημείο B τοποθετείται θετικό φορτίο. Περιγράψε την κίνησή του.



2. Μια πασχαλίτσα, πετώντας στον αέρα, έχει αποκτήσει φορτίο απόλυτης τιμής  $5 \cdot 10^{-10} \text{C}$ . Ένα μηχάνημα που ξεκινά να λειτουργεί, δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο και η πασχαλίτσα κινείται ανάμεσα σε δύο σημεία του, με διαφορά δυναμικού 50 V, αντίθετα από τη φορά των δυναμικών γραμμών του πεδίου.



- i. Με ποιον τρόπο φορτίστηκε αρχικά η πασχαλίτσα;
- ii. Το φορτίο της είναι θετικό ή αρνητικό;
- iii. Πόση ενέργεια δέχτηκε από το πεδίο;

## 1.4 Ηλεκτρικό ρεύμα



Το μακρινό 1879, δύο εφευρέτες, ο Thomas Alva Edison και ο Joseph Wilson Swan, κατάφεραν μετά από πολλές προσπάθειες, ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο, να κατασκευάσουν έναν ανθεκτικό ηλεκτρικό λαμπτήρα.

Τελικά ήρθαν σε συμφωνία και συνεργάστηκαν για την πώληση λαμπτήρων. Μέσα σε τρία χρόνια, το 1882, ο Edison δημιούργησε τον πρώτο σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη Wall Street, στο Μανχάταν, το πρώτο μέρος του κόσμου που φωτίστηκε με ηλεκτρισμό.



**Εικόνα 1.4.1:** Ενημερωτική πινακίδα από το παρελθόν. Μετάφραση: «**Ηλεκτρικό Φως Έντισον**, Μην προσπαθείτε να ανάψετε με σπίρτο. Απλά γυρίστε τον διακόπτη δίπλα στην πόρτα.»

### Μετά από αυτή την ενότητα θα είσαι σε θέση να:

1. αναγνωρίζεις ότι η ηλεκτρική πηγή δημιουργεί διαφορά δυναμικού στα άκρα της.
2. αναγνωρίζεις τα στοιχεία ενός απλού ηλεκτρικού κυκλώματος, να αναφέρεις τον ρόλο τους και να τα αποτυπώσεις με συμβολικές αναπαραστάσεις.
3. κατασκευάζεις ένα απλό ηλεκτρικό κύκλωμα και να χρησιμοποιείς το αμπερόμετρο, το βολτόμετρο και το πολύμετρο για να κάνεις μετρήσεις.
4. ορίζεις το ηλεκτρικό ρεύμα ως προσανατολισμένη κίνηση φορτίου και να την ερμηνεύεις με τα μοντέλα του μικρόκοσμου.
5. ορίζεις την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος και να γνωρίζεις τις μονάδες μέτρησής της.



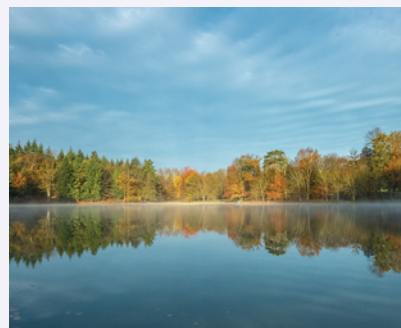
Για τις δραστηριότητες της παραγράφου αυτής θα χρειαστούν:

Χαρτόνια A4, αλουμινοχαρτο, μπαταρίες, καρφάκια με πλαστικό κεφάλι, λαμπάκια (3,8V - 0,3A), λαμπάκια (4,5V - 0,5A), ντουί, μοτεράκι από παιχνίδι, κάρβουνο ζωγραφικής (μολύβι 8B), μικρό κόκκινο led υψηλής φωτεινότητας, βομβητής.



### Ας αναρωτηθούμε

Παρατήρησε προσεκτικά τις εικόνες 1.4.2 και 1.4.3. Ποια διαφορά υπάρχει στην κίνηση του νερού στις δύο εικόνες; Τι θα πρέπει να συμβαίνει για να ρέει το νερό προς μια κατεύθυνση στην εικόνα 1.4.3;



**Εικόνα 1.4.2:** Ήρεμη λίμνη.



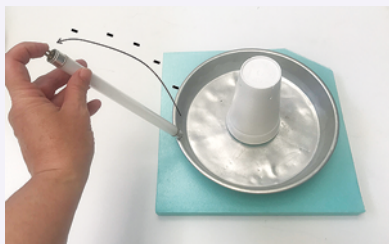
**Εικόνα 1.4.3:** Ρυάκι - Ρεύμα νερού.

Παρακολούθησε το βίντεο 1.4.1 στον σύνδεσμο. Η λάμπα φθορισμού φωτοβολεί όταν φορτία από την ηλεκτροφόρο περνούν μέσα από αυτή και κατευθύνονται στη Γη, περνώντας από το σώμα μας. Μπορείς να συγκρίνεις την εικόνα 1.4.3 με την εικόνα 1.4.4;

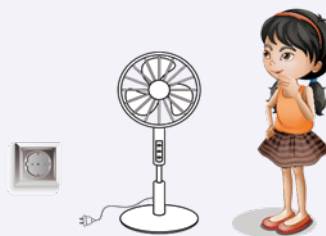
Ο ανεμιστήρας της εικόνας 1.4.5 δεν είναι χαλασμένος. Όμως δεν λειτουργεί! Τι χρειάζεται μια ηλεκτρική συσκευή για να λειτουργήσει;



Βίντεο 1.4.1: Η λάμπα φθορισμού ακουμπά την ηλεκτροφόρο.



Εικόνα 1.4.4: Η λάμπα φθορισμού φωτοβολεί στιγμιαία με την ηλεκτροφόρο.



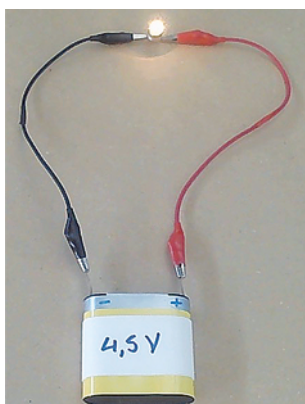
Εικόνα 1.4.5: Τι ξέχασε η Ηλέκτρα;

## Το ηλεκτρικό ρεύμα

### Πρακτική δραστηριότητα:



Αν συνδέσεις ένα λαμπάκι με μια μπαταρία, το λαμπάκι ανάβει;



Εικόνα 1.4.6: Η σύνδεση της μπαταρίας με τον λαμπτήρα.



Σύνδεσε ένα λαμπάκι με μπαταρία, χρησιμοποιώντας τα καλώδια του εργαστηρίου. Το λαμπάκι ανάβει;

.....

Αφαίρεσε την μπαταρία. Το λαμπάκι εξακολουθεί να είναι αναμμένο;

.....

Θα ανάψει το λαμπάκι αν αντικαταστήσεις τα καλώδια με σκοινάκια;

.....



Για να ανάψει το λαμπάκι είναι απαραίτητη η ύπαρξη μιας ..... Όμως ενώ όταν χρησιμοποιώ ..... (μεταλλικούς αγωγούς), το λαμπάκι ....., όταν χρησιμοποιώ ..... το λαμπάκι παραμένει σβηστό αν και υπάρχει η μπαταρία.





## Στον μικρόκοσμο των μετάλλων!

Τα μέταλλα είναι χημικά στοιχεία που το άτομό τους διαθέτει από ένα έως τρία εξωτερικά ηλεκτρόνια. Αυτά τα **εξωτερικά** ηλεκτρόνια έλκονται χαλαρά από τους πυρήνες, ώστε διαφεύγουν και κινούνται ελεύθερα σε όλο τον όγκο του μετάλλου. Γι' αυτό τον λόγο τα ονομάζουμε **ελεύθερα ηλεκτρόνια**. Τα άτομα του μετάλλου, έχοντας χάσει ηλεκτρόνια, έχουν μετατραπεί σε θετικά ιόντα, που έχουν σχετικά μεγάλη μάζα και δεν μπορούν να μετακινηθούν. Κάνουν μόνο μικρές κινήσεις γύρω από τις θέσεις τους, δημιουργώντας ένα πλέγμα.

Ας σημειώσουμε ότι σε ένα αφόρτιστο μεταλλικό σώμα, το συνολικό αρνητικό φορτίο των ελεύθερων ηλεκτρονίων και το συνολικό θετικό φορτίο των θετικών ιόντων είναι ίδιο. Έτσι το σώμα είναι **ηλεκτρικά ουδέτερο**. Με απλά λόγια μπορούμε να πούμε ότι τα ηλεκτρόνια που διέφυγαν από τα άτομα του μετάλλου, δεν διέφυγαν από το ίδιο το μέταλλο, αλλά τριγυρνούν μέσα σε αυτό.

Αν τώρα το μέταλλο πάρει ή χάσει, με κάποιον τρόπο, ηλεκτρόνια, το πλεόνασμα ή το έλλειμμα των ηλεκτρονίων κατανέμεται σε όλη την έκταση του μετάλλου, λόγω της κίνησης των ελεύθερων ηλεκτρονίων. Αυτό είναι που κάνει τα μέταλλα **αγωγούς**.

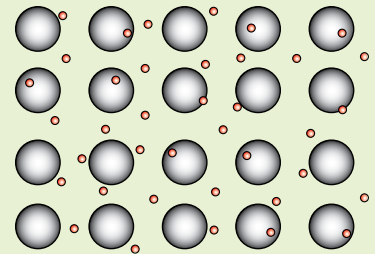
**Αγωγιμότητα** όμως δεν παρουσιάζουν μόνο τα μέταλλα αλλά κάθε σώμα που φέρει ελεύθερα φορτία. Έτσι αγωγίμα είναι επίσης τα ιονισμένα αέρια και τα διαλύματα και τα τήγματα ηλεκτρολυτών (οξέων, βάσεων και αλάτων). Στις περιπτώσεις αυτές τα ελεύθερα φορτία δεν είναι ηλεκτρόνια αλλά ιόντα και μπορούν να είναι είτε θετικά είτε αρνητικά.

## Από τα φορτία στο ηλεκτρικό ρεύμα!

Αν καταφέρουμε να κινήσουμε προς μια κατεύθυνση φορτία, όπως τα ελεύθερα ηλεκτρόνια των μετάλλων, έχουμε ηλεκτρικό ρεύμα. Το ηλεκτρικό ρεύμα είναι η κίνηση των ηλεκτρικών φορτίων προς μία κατεύθυνση.

Για να το διατυπώσουμε με πιο επιστημονικούς όρους, **το ηλεκτρικό ρεύμα είναι η προσανατολισμένη κίνηση ηλεκτρονίων ή γενικότερα φορτισμένων σωματιδίων**.

Πώς όμως θα πετύχουμε την κίνηση των φορτίων; Με μια **ηλεκτρική πηγή**, όπως είναι η μπαταρία ή η πρίζα του σπιτιού μας. Σε κάθε ηλεκτρική πηγή υπάρχουν δύο αντίθετα ηλεκτρισμένες περιοχές, οι ηλεκτρικοί πόλοι. Συνδέοντας τους δύο πόλους μιας ηλεκτρικής πηγής με μεταλλικό σύρμα, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια δέχονται δύναμη που τα κινεί από τον αρνητικό προς τον θετικό πόλο. Έχουμε λοιπόν μια προσανατολισμένη κίνηση φορτίων, δηλαδή ηλεκτρικό ρεύμα. Η ηλεκτρική πηγή δεν παράγει φορτία! Κάνει να κινηθούν τα φορτία που βρίσκονται ελεύθερα στα καλώδια!!!



**Εικόνα 1.4.7:** Τα θετικά ιόντα και τα ελεύθερα ηλεκτρόνια σε ένα κομμάτι μετάλλου.

## Ηλεκτρικό κύκλωμα και Ηλεκτρικά δίπολα

**Πρακτική δραστηριότητα:**



Μπορείς να συνδέσεις μια μπαταρία με ένα λαμπάκι, χωρίς τη χρήση καλωδίων;

Ποτέ

Αν τοποθετήσω σωστά το λαμπάκι στα άκρα της μπαταρίας

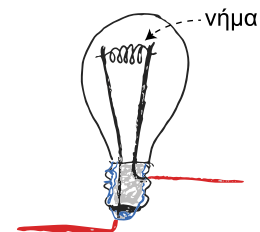




**Πραγματοποίησε** καθεμιά από τις διατάξεις των εικόνων και σημείωσε ένα ✓ όταν το λαμπάκι ανάβει.



Για να ανάψει το λαμπάκι θα πρέπει να ακουμπά το ένα άκρο της ..... στην κάτω πλευρά του και η παράπλευρη μεταλλική επιφάνεια στο ..... άκρο της μπαταρίας. Έτσι δημιουργείται μια διαδρομή που μπορούν να ακολουθήσουν τα ελεύθερα ..... και το ηλεκτρικό ..... να περνα μέσα από το νήμα του λαμπτήρα, το οποίο ζεσταίνεται και φωτοβολεί.



## Ηλεκτρικά δίπολα – Ηλεκτρικό κύκλωμα

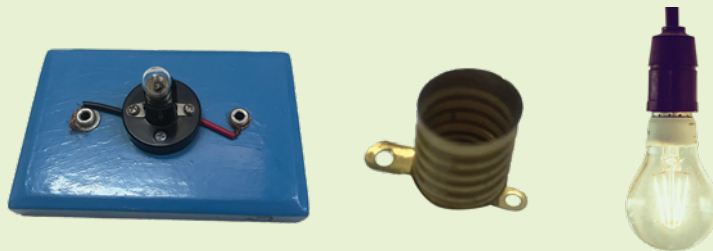
Όλες οι ηλεκτρικές συσκευές (μπαταρίες, λαμπτήρες, ψυγεία, τηλεοράσεις κ.ά.) διαθέτουν δύο άκρα τα οποία ονομάζουμε πόλους. Για τον λόγο αυτό ονομάζονται **ηλεκτρικά δίπολα**. Άλλα δίπολα προσφέρουν ενέργεια στο κύκλωμα, όπως οι μπαταρίες, και ονομάζονται **ηλεκτρικές πηγές**. Υπάρχουν και δίπολα, όπως ο λαμπτήρας, που καταναλώνουν ενέργεια, οπότε ονομάζονται **καταναλωτές**.

Συνδέοντας ηλεκτρικά δίπολα, δημιουργούμε μια αγωγίμη διαδρομή και τα ελεύθερα ηλεκτρόνια των αγωγών κάνουν «κύκλους» μέσα από αυτήν τη διαδρομή. Έτσι μια τέτοια διάταξη ονομάστηκε **ηλεκτρικό κύκλωμα**.

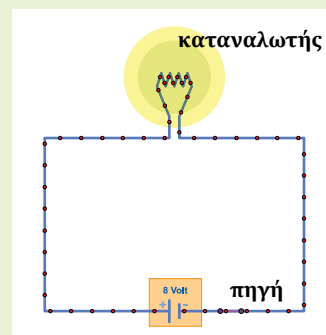
Όταν ο διακόπτης του κυκλώματος είναι κλειστός, το κύκλωμα διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα. Ένα τέτοιο **κύκλωμα** ονομάζεται **κλειστό**. Αντίστοιχα, με ανοιχτό διακόπτη, η ροή των ελεύθερων ηλεκτρονίων διακόπτεται και έχουμε **ανοιχτό κύκλωμα**.

## Λυχνιολαβή ή ντουϊ

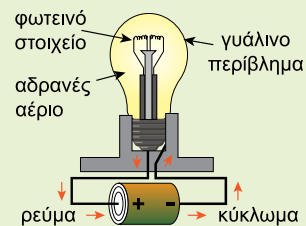
Είναι ένα στοιχείο ηλεκτρικού κυκλώματος με δύο άκρα εξωτερικά. Βάζουμε μέσα σε αυτήν τον λαμπτήρα (λυχνία) και ο ένας του πόλος συνδέεται με το ένα άκρο της λυχνιολαβής και ο άλλος με το άλλο. Μας βοηθά λοιπόν να συνδέουμε λαμπτήρες σε ένα κύκλωμα.



Εικόνα 1.4.10: Λυχνιολαβές στο εργαστήριο και στο σπίτι.



Εικόνα 1.4.8: Σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα υπάρχουν οι πηγές (π.χ. μπαταρία) και οι καταναλωτές (π.χ. λαμπτήρες).



Εικόνα 1.4.9: Τα βέλη δείχνουν την κίνηση των ηλεκτρονίων.

## Η Διαφορά Δυναμικού στο ηλεκτρικό κύκλωμα

### Πρακτική δραστηριότητα:



**Μπορείς να προσδιορίσεις την ενέργεια που μια μπαταρία είναι δυνατόν να προσφέρει;**



Σίγουρα στο σπίτι έχεις πολλές διαφορετικές μπαταρίες. Βρες μερικές από αυτές για να παρατηρήσεις τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους.

Τι διαπιστώνεις για τη διαφορά δυναμικού που οι μπαταρίες αυτές είναι σε θέση να δημιουργήσουν στα άκρα ενός κυκλώματος, αν συνδεθεί με αυτές;

.....  
.....



Οι ετικέτες των ..... αναγράφουν τη **διαφορά δυναμικού** (ή **τάση**) που δημιουργούν στα άκρα ενός κυκλώματος, αν συνδεθεί με αυτές. Η διαφορά δυναμικού μιας μπαταρίας δείχνει την ..... της να προσφέρει ενέργεια ανά μονάδα φορτίου. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του ....., με την κατευθυνόμενη κίνησή τους μεταφέρουν ενέργεια ίση με τη διαφορά δυναμικού ..... με το φορτίο που μετακινήθηκε.



Εικόνα 1.4.11: Μπαταρίες του εμπορίου.



## Το βολτόμετρο

Το σχολικό εργαστήριο διαθέτει όργανα με τα οποία μπορούμε να εκτιμήσουμε τη διαφορά δυναμικού στους πόλους μιας μπαταρίας. Τα όργανα αυτά ονομάζονται **βολτόμετρα**.

Η τάση που μετρά το βολτόμετρο χωρίς φόρτο, δηλαδή χωρίς να έχουμε συνδέσει την μπαταρία σε κάποιον καταναλωτή, είναι μεγαλύτερη από αυτή που μετρά το βολτόμετρο όταν η μπαταρία είναι συνδεδεμένη σε καταναλωτή.

Το βολτόμετρο συνδέεται πάντα στα άκρα του στοιχείου του οποίου θέλουμε να μετρήσουμε τη διαφορά δυναμικού. Μοιάζει λοιπόν να βρίσκεται παράλληλα με αυτό. Έτσι μια τέτοια σύνδεση την ονομάζουμε **παράλληλη**.

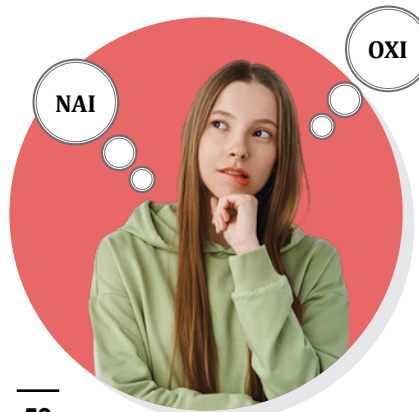


Εικόνα 1.4.12: Βολτόμετρο σχολικού εργαστηρίου.

### Πρακτική δραστηριότητα:



Το 1800 ο Alessandro Volta (Αλεσάντρο Βόλτα) κατασκεύασε την πρώτη πρακτική μπαταρία. Μπορείς να φτιάξεις κι εσύ μια τέτοια μπαταρία;



Εικόνα 1.4.13: Φωτογραφία μουσείου.



**Βάλε** ξίδι σε ένα ποτήρι και κρέμασε στη μια πλευρά του ένα έλασμα χαλκού και στην άλλη ένα έλασμα ψευδαργύρου (τσίγκου). Μόλις έφτιαξες μια μπαταρία σαν του Volta. Οι πόλοι της μπαταρίας είναι τα δύο ελάσματα.

Με τη βοήθεια δύο καλωδίων, σύνδεσε ένα λαμπάκι led με την μπαταρία ως εξής: Στο μακρύ ποδαράκι του led (θετικό) σύνδεσε τον χαλκό και στο άλλο τον ψευδάργυρο.

**Ανάβει το led;** .....

**Εκτίμησε** τη διαφορά δυναμικού στα άκρα της μπαταρίας με ένα βολτόμετρο και σημείωσε την ένδειξη .....

Παρατήρηση: Αν δεν έχεις ελάσματα, αντικατάστησε τον χαλκό με ένα νόμισμα 1, 2 ή 5 λεπτών, τον ψευδάργυρο με μια βίδα και κρέμασέ τα μέσα στο ξίδι με καλώδια με κροκοδειλάκι (πρόσεξε το κροκοδειλάκι να μην ακουμπά στο ξίδι).

**Φτιάξε** μια δεύτερη, ίδια μπαταρία και σύνδεσε με ένα καλώδιο το έλασμα χαλκού της μιας με το έλασμα ψευδαργύρου της δεύτερης.

Μόλις κατασκευάσες μια συστοιχία μπαταριών, οι πόλοι της οποίας είναι τα δύο ελάσματα που δεν είναι πουθενά συνδεδεμένα.

Ωρα να συνδέσεις και πάλι το led. Τι παρατηρείς;

.....  
 .....  
 .....

**Εκτίμησε** τη διαφορά δυναμικού στα άκρα της μπαταρίας με ένα βολτόμετρο και σημείωσε την ένδειξη .....

Αν συνδέσεις πολλές ίδιες μπαταρίες ξιδιού τι θα πετύχεις; .....

.....  
 .....



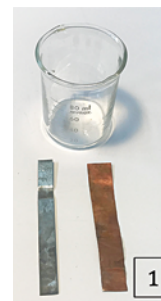
Ο Volta έφτιαξε την μπαταρία του (στήλη Volta) με τον ίδιο τρόπο, μόνο που τα δικά του ποτήρια ήταν χαρτονένιοι δίσκοι, εμποτισμένοι με οξύ, τοποθετημένοι ο ένας επάνω στον άλλο και ανάμεσά τους παρεμβάλλονταν φύλλα χαλκού και ψευδαργύρου.

Με μία μόνο μπαταρία ξιδιού, η διαφορά δυναμικού στα άκρα του led είναι ..... και δεν ανάβει. Αν όμως συνδέσω και μια δεύτερη μπαταρία, η διαφορά δυναμικού ....., το led ανάβει.

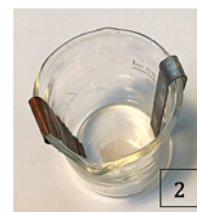
Αν ανοίξω μια μπαταρία 4,5 V, βλέπω ότι αποτελείται από τρία στοιχεία ..... συνδεδεμένα μεταξύ τους!



Εικόνα 1.4.18: Μια μπαταρία 4,5V και το εσωτερικό της.



1



2



3



4

Εικόνα 1.4.14: Η διαδικασία κατασκευής μιας μπαταρίας σαν του Volta.



Εικόνα 1.4.15: Συστοιχία μπαταριών.

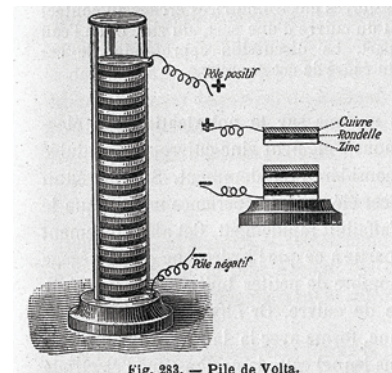


Fig. 283. — Pile de Volta.

Εικόνα 1.4.16: Σκίτσο μουσείου.



Εικόνα 1.4.17: Το led μπορεί να ανάψει με μια τέτοια συστοιχία.

## Η Ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος

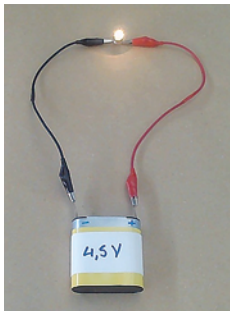
### Πρακτική δραστηριότητα:



Πότε φωτοβολεί περισσότερο ένα λαμπάκι;



Σύνδεσε ένα λαμπάκι με μια καινούρια μπαταρία 4,5V όπως στην εικόνα 1.4.19.



Εικόνα 1.4.19: Η σύνδεση της μπαταρίας με το λαμπάκι.

**Αντικατάστησε** την μπαταρία με μία 1,5V.

Τι παρατηρείς σχετικά με τη φωτοβολία του λαμπτήρα;

.....  
 ...  
 .....

**Παίξε με το ηλεκτρικό κύκλωμα** στην προσομοίωση και διερεύνησε τον ρόλο του διακόπτη.

Αλλάζοντας την τάση της πηγής σημείωσε τι συμβαίνει με την κίνηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων των καλωδίων και τη φωτοβολία του λαμπτήρα.

.....  
 .....

Στην προσομοίωση αυτή τα ελεύθερα ηλεκτρόνια κινούνται πάντα προς την ίδια κατεύθυνση. Το ηλεκτρικό ρεύμα που δημιουργείται ονομάζεται **συνεχές** (direct current **dc**). Μια μπαταρία παράγει πάντα συνεχές ρεύμα.



Όταν σε ένα κύκλωμα είναι ανοικτός ο διακόπτης, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια των καλωδίων δεν διαθέτουν έναν αγωγίμο δρόμο για να κινηθούν.

Συνεπώς δεν υπάρχει ..... αν και υπάρχει διαφορά δυναμικού, λόγω της .....

Το ηλεκτρικό ρεύμα είναι ..... όταν είναι συνδεδεμένη η μπαταρία 4,5V. Αυτό σημαίνει ότι ο αριθμός των ..... που διέρχονται από μία διατομή του καλωδίου στη μονάδα του χρόνου είναι ..... στην περίπτωση αυτή.



### Ένταση Ηλεκτρικού Ρεύματος

Όσο περισσότερα ηλεκτρόνια διέρχονται από μία κάθετη διατομή (ή απλά διατομή) ενός αγωγού, τόσο περισσότερο φορτίο περνάει από τη διατομή αυτή και αντίστοιχα τόσο ισχυρότερο είναι το ηλεκτρικό ρεύμα στον αγωγό. **Ορίζουμε την ένταση  $I$  του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει έναν αγωγό ως το πηλίκο του ηλεκτρικού φορτίου που διέρχεται από μια διατομή του αγωγού σε χρόνο  $t$  δια τον χρόνο αυτό.**

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.4.1)$$

Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος είναι μονόμετρο μέγεθος και εκφράζει το πόσο ηλεκτρικό φορτίο διέρχεται από μια διατομή του αγωγού στη μονάδα του χρόνου (δηλαδή σε κάθε δευτερόλεπτο). Στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων η μονάδα της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος είναι το 1A (Ampère) και αποτελεί μία από τις θεμελιώδεις μονάδες του S.I.

Το 1 C μάλιστα ορίζεται ως **1 C = 1 A·1s**.



ΑΝ ΤΟ ΣΥΝΔΕΣΩ  
ΜΕ ΜΠΑΤΑΡΙΑ 1,5 V

ΑΝ ΤΟ ΣΥΝΔΕΣΩ ΜΕ  
ΜΠΑΤΑΡΙΑ 4,5 V



## Το Αμπερόμετρο

Το σχολικό εργαστήριο διαθέτει όργανα με τα οποία μπορούμε να μετρήσουμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει ένα κύκλωμα. Τα όργανα αυτά ονομάζονται **αμπερόμετρα**.

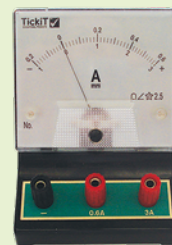


Εικόνα 1.4.21: Πολύμετρο.

Για να κάνουμε τη μέτρηση πρέπει να παρεμβάλουμε το αμπερόμετρο στο κύκλωμα και όλο το ρεύμα να περάσει μέσα από το όργανο. Αυτός ο τρόπος σύνδεσης ονομάζεται **σύνδεση σε σειρά**.

## Το Πολύμετρο

Υπάρχουν και όργανα που μπορούν να λειτουργήσουν σαν βολτόμετρα, αμπερόμετρα αλλά να κάνουν και άλλων ειδών μετρήσεις. Τα όργανα αυτά ονομάζονται **πολύμετρα**.



Εικόνα 1.4.20: Αμπερόμετρο σχολικού εργαστηρίου.



Βίντεο 1.4.2: Οι λειτουργίες του πολύμετρου.

## Σχηματική παράσταση ηλεκτρικού κυκλώματος

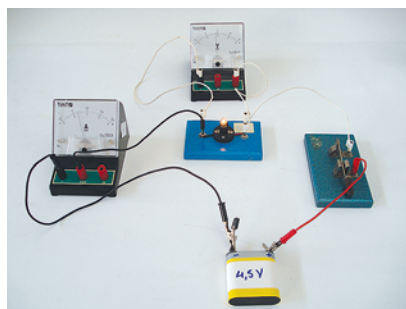
### Πρακτική δραστηριότητα:



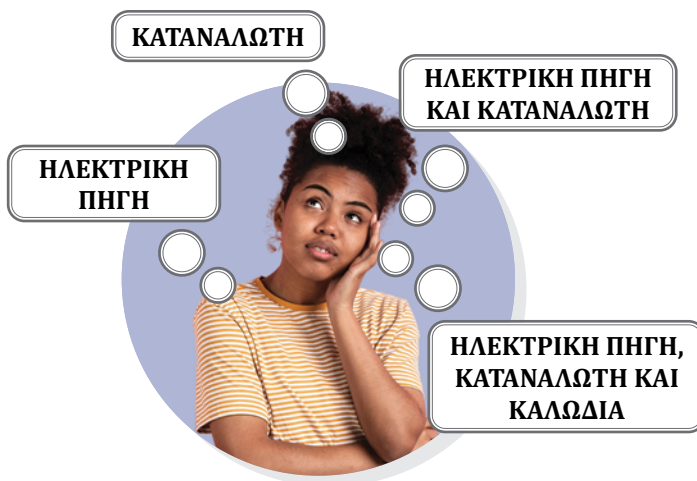
Τι χρειάζεσαι για να φτιάξεις ένα κύκλωμα;



Πραγματοποίησε, με τη βοήθεια του/της καθηγητή/τριας, τη διάταξη της εικόνας 1.4.22α (ή τη διάταξη της εικόνας 1.4.22β αν το εργαστήριό σου διαθέτει πολύμετρα) και άφησε τον διακόπτη ανοιχτό.



Εικόνα 1.4.22 α: Κύκλωμα με μπαταρία, λαμπτήρα, διακόπτη αμπερόμετρο και βολτόμετρο.



**Μελέτησε** προσεκτικά τις κλίμακες του βολτόμετρου και του αμπερόμετρου. Ποια είναι η ελάχιστη υποδιαίρεση για την καθεμιά;

**Βολτόμετρο:** .....

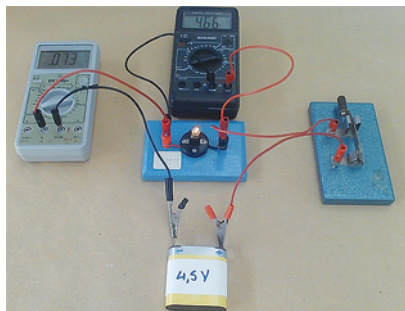
**Αμπερόμετρο:** .....

Κλείσε τον διακόπτη και σημείωσε ποια είναι η ένδειξη σε καθένα από τα όργανα;

**Βολτόμετρο:** .....

**Αμπερόμετρο:** .....





Εικόνα 1.4.22 β: Το ίδιο κύκλωμα με πολύμετρα.

Πώς είναι συνδεδεμένο το βολτόμετρο στο κύκλωμα και ποια διαφορά δυναμικού μετράει;

.....  
 .....

Πώς είναι συνδεδεμένο το αμπερόμετρο στο κύκλωμα και γιατί;

.....  
 .....

Γιατί κρατάς τον διακόπτη ανοιχτό μέχρι τη στιγμή που θα πάρεις μετρήσεις;

.....

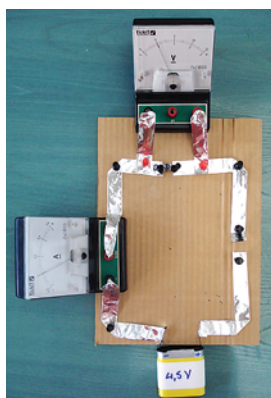


Η μπαταρία, το αμπερόμετρο, ο λαμπτήρας και ο διακόπτης είναι συνδεδεμένα σε ....., ενώ το βολτόμετρο είναι συνδεδεμένο ..... με το ..... και μετράει την τάση στα άκρα του.

**Πρακτική δραστηριότητα:**



Το κύκλωμα της προηγούμενης δραστηριότητας είναι ένα από τα απλούστερα ηλεκτρικά κυκλώματα. Μπορείς να το απλοποιήσεις κι άλλο;



Εικόνα 1.4.23: Το κύκλωμα της εικόνας 1.4.22 φτιαγμένο με αγωγούς από αλουμινόχαρτο.



**Κόψε** κομμάτια αλουμινόχαρτου, πλάτους 10 cm, τύλιξέ τα κατά μήκος της μακριάς πλευράς ώστε να δημιουργηθούν λωρίδες πλάτους 2 cm. Στερέωσέ τα με καρφάκια στο χαρτόνι, όπως στην εικόνα 1.4.24.

**Πραγματοποίησε** τη διάταξη της εικόνας.

Πόσο διαφορετικό είναι πραγματικά το κύκλωμα αυτό με το κύκλωμα της δραστηριότητας 4;

.....



Τα καλώδια είναι κατασκευασμένα από μέταλλο (συνήθως χαλκό) για να είναι ..... Διαθέτουν δηλαδή ..... ηλεκτρόνια, τα οποία μπορούν να κινηθούν προς ..... κατεύθυνση, αν εφαρμοστεί στα άκρα τους διαφορά δυναμικού. Εξωτερικά ένα καλώδιο είναι καλυμμένο με μη αγωγίμο υλικό (συνήθως πλαστικό), έτσι ώστε να μην ..... αν το πιάσω με γυμνά χέρια. Σε διαφορετική περίπτωση τα φορτία θα περνούσαν μέσα από το σώμα μου, που είναι επίσης ....., για να πάνε στη Γη και θα πάθαινα ηλεκτροπληξία.

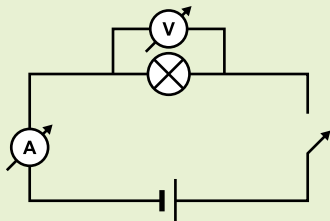
Όταν όμως η ..... του κυκλώματος είναι μια μπαταρία 4,5 V, το ρεύμα είναι τόσο μικρό που δεν θα το καταλάβω καν, αν περάσει μέσα από το σώμα μου. Έτσι τα καλώδια από αλουμινόχαρτο είναι μια βολική κατασκευή για το σχολικό εργαστήριο, αλλά θα ήταν δολοφονικά αν έμπαιναν στα κυκλώματα ενός .....



## Σχηματική σχεδίαση ηλεκτρικών κυκλωμάτων

Για να διευκολυνθούμε όταν σχεδιάζουμε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα, αντί να ζωγραφίζουμε, προτιμάμε τη σχηματική σχεδίαση του κυκλώματος. Έτσι το κύκλωμα της εικόνας 1.4.22 θα απεικονιστεί όπως στην εικόνα 1.4.24.

Τα κυκλώματα των εικόνων 1.4.22 και 1.4.23 είναι πανομοιότυπα. Το δεύτερο όμως είναι πιο κοντά στη σχηματική σχεδίαση.



Εικόνα 1.4.24: Σχηματική παράσταση κυκλώματος με μπαταρία, λαμπτήρα, διακόπτη αμπερόμετρο και βολτόμετρο.

Τα σύμβολα των κυριότερων στοιχείων του ηλεκτρικού κυκλώματος είναι:

	Πηγή
	Ανοιχτός διακόπτης
	Κλειστός διακόπτης
	Γείωση
	Λαμπτήρας
	Αντίσταση
	Αμπερόμετρο
	Βολτόμετρο
	Μεταβλητή Αντίσταση

Εικόνα 1.4.25: Τα κυριότερα σύμβολα που χρησιμοποιούνται για τη σχηματική παράσταση ηλεκτρικού κυκλώματος.

## Η φορά του ηλεκτρικού ρεύματος

### Πρακτική δραστηριότητα:



Η μπαταρία έχει θετικό και αρνητικό πόλο. Υπάρχει διαφορά αν συνδέσεις έναν λαμπτήρα με έναν από τους παρακάτω τρόπους;



Πραγματοποίησε τις δύο συνδεσμολογίες με τον λαμπτήρα. Τι βλέπεις;

.....

**Αντικατάστησε** το λαμπάκι με έναν μικρό κινητήρα από παιχνίδι και έναν βομβητή και σύνδεσέ τα και με τους δύο τρόπους. Τι συμβαίνει τώρα;

.....

.....



Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια στο κύκλωμα κινούνται από τον ..... προς το ..... πόλο της πηγής. Υπάρχουν συσκευές όπως οι ..... που λειτουργούν όποια και να είναι η φορά κίνησης των ηλεκτρονίων. Υπάρχουν και άλλες, όπως οι ..... που πρέπει να συνδεθούν κατάλληλα γιατί λειτουργούν μόνο όταν τα ελεύθερα ηλεκτρόνια κινούνται με συγκεκριμένη .....



Βίντεο 1.4.3: η δραστηριότητα.



Εικόνα 1.4.26: Σύνδεση κινητήρα και βομβητή με μπαταρία.



## Η φορά του ηλεκτρικού ρεύματος

Ο άνθρωπος έχει συνδέσει το θετικό με το «καλό» και το αρνητικό με το «κακό». Έτσι ο Γάλλος φυσικός André-Marie Ampère (Αντρέ-Μαρί Αμπέρ), σε μια εποχή που δεν ήταν γνωστό τι συμβαίνει στον μικρόκοσμο, πρότεινε να θεωρείται ως φορά του ηλεκτρικού ρεύματος η φορά κίνησης των θετικά φορτισμένων σωματιδίων.

Στους μεταλλικούς αγωγούς όμως, που είναι και οι πιο συνηθισμένοι, το ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργείται από την προσανατολισμένη κίνηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων, τα οποία έχουν αρνητικό φορτίο. Έτσι η φορά κίνησης των ελεύθερων ηλεκτρονίων ονομάζεται **πραγματική φορά** του ηλεκτρικού ρεύματος. Τα ίδια όμως αποτελέσματα θα είχε μια αντίθετη κίνηση θετικών φορτίων. Έχει επικρατήσει να θεωρείται η **αντίθετη** από τη φορά κίνησης των ελεύθερων ηλεκτρονίων, ως **συμβατική φορά** του ηλεκτρικού ρεύματος.



## Διεπιστημονικές – Διαθεματικές Εφαρμογές της Θεωρίας, Γενίκευση, Εμπέδωση, Ερμηνείες με τον μικρόκοσμο

**Μάθε κάτι από την ιστορία του ηλεκτρισμού και φτιάξε τη δική σου πλακέτα με τη βοήθεια του συνδέσμου!**

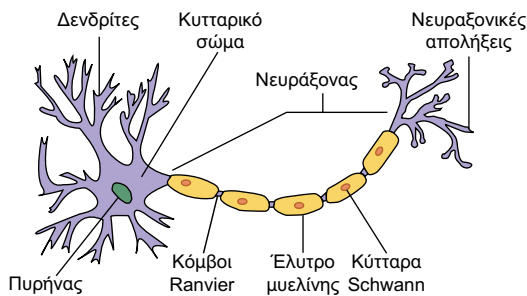


Ο Ιταλός ανατόμος Luigi Galvani (1737-1798) (Λουίτζι Γκαλβάνι), παρατήρησε ότι αν έφερνε σε επαφή τα νεύρα των μηρών νεκρών βατράχων με δύο διαφορετικά μέταλλα (π.χ. σίδηρο και χαλκό), συνδεδεμένα στην άκρη, ο μυς έκανε μία σύσπαση. Ο Galvani απέδωσε το φαινόμενο σε κάποιο είδος ηλεκτρισμού στο μυϊκό σύστημα, τον οποίο ονόμασε «ζωικό ηλεκτρισμό». Μάλιστα, δεν ήταν λίγοι αυτοί που πίστεψαν λανθασμένα, πως είχε βρεθεί η λύση στο να επαναφέρουμε νεκρούς οργανισμούς στην ζωή. Εμπνευσμένη από αυτά τα πειράματα, η συγγραφέας Mary Wollstonecraft Shelley (Μαίρη Γουολστούνκραφτ Σέλεϊ) έγραψε το βιβλίο της «Φρανκενστάιν».

Σήμερα γνωρίζουμε ότι τα νευρικά κύτταρα του οργανισμού μας έχουν παράξενο σχήμα, διαθέτουν πυρήνα, κυτταρόπλασμα και κυτταρική μεμβράνη που τα διαχωρίζουν από τον εξωκυττάριο χώρο. Συνδέονται το ένα με το άλλο και σχηματίζουν το νευρωνικό δίκτυο. Μεταξύ του κυτταροπλάσματος και του εξωκυττάριου χώρου ενός νευρικού κυττάρου υπάρχει μια διαφορά δυναμικού που λειτουργεί σαν μια μπαταρία. Σε φυσιολογικές συνθήκες, αυτή η διαφορά δυναμικού, παίρνει τιμές από  $-60$  έως  $-70$  mV. Αν όμως γίνει  $+30$  mV (με είσοδο ή έξοδο ιόντων από

το κύτταρο), δημιουργείται ένα μικρό ηλεκτρικό ρεύμα που διαρρέει το κύτταρο από τη μία άκρη ως την άλλη. Εκεί όμως συναντά το επόμενο νευρικό κύτταρο, γίνεται ανταλλαγή ουσιών και ενώ το αρχικό κύτταρο επιστρέφει στη φυσιολογική του κατάσταση είναι η σειρά του δεύτερου να παράξει ηλεκτρικό ρεύμα που θα κινηθεί προς ένα τρίτο.

Έτσι, με τη βοήθεια του ηλεκτρικού ρεύματος, τα νευρικά μας κύτταρα στέλνουν πληροφορίες που διακινούνται μέσα στο σώμα μας. Περιβάλλονται μάλιστα από άλλα είδη κυττάρων (κύτταρα Schwann) που δρουν ως μονωτικό, όπως το πλαστικό περίβλημα των καλωδίων.



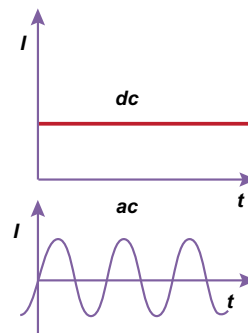
Εικόνα 1.4.27: Το νευρικό κύτταρο.



### Εναλλασσόμενο ρεύμα

Το ηλεκτρικό ρεύμα που δημιουργεί η πρίζα του σπιτιού μας έχει ένταση και φορά που μεταβάλλεται περιοδικά με τον χρόνο. Το ρεύμα αυτό ονομάζεται **εναλλασσόμενο** (alternative current **ac**). Φαντάσου τα ελεύθερα ηλεκτρόνια μέσα στα καλώδια να μην ταξιδεύουν κάνοντας κύκλους αλλά να πηγαινοέρχονται γύρω από ένα σημείο 50 φορές το δευτερόλεπτο!

Το ρεύμα αυτό έχει πολλές ωραίες ιδιότητες και αποτέλεσε σημείο τριβής ανάμεσα στον Tesla και στον Edison, σε μια διαμάχη που είναι γνωστή και ως ο «πόλεμος των ρευμάτων».



Εικόνα 1.4.28: Διαγράμματα έντασης-χρόνου για συνεχές και εναλλασσόμενο ρεύμα.



Διάβασε στον σύνδεσμο ένα ενδιαφέρον ζήτημα από την ιστορία του ηλεκτρισμού.

Εννοιολογικός Χάρτης



Ενότητας 1.4

### Ερωτήσεις

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

- i. Ηλεκτρικό ρεύμα είναι η ..... κίνηση των ..... ή γενικότερα των ..... σωματιδίων.
- ii. .... (I) του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει έναν αγωγό ονομάζεται το πηλίκο του ..... (q) που διέρχεται από μια ..... του αγωγού σε ..... (t) προς το.....
- iii. Τα όργανα που χρησιμοποιούμε για να μετράμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που ..... ένα κύκλωμα ονομάζονται ..... και συνδέονται πάντα σε ..... στο κύκλωμα. Αυτά που χρησιμοποιούμε για να μετράμε στη διαφορά δυναμικού ανάμεσα σε δύο σημεία του κυκλώματος ονομάζονται ..... και συνδέονται .....

2. Γιατί κανονικά ένα καλώδιο που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα δεν είναι ηλεκτρικά φορτισμένο;

3. Να χαρακτηριστούν οι προτάσεις που ακολου-

θούν ως σωστές (Σ) ή λανθασμένες (Λ) στο κύκλωμα της εικόνας.



- i. Τα καλώδια είναι ηλεκτρικά φορτισμένα.
- ii. Κατά μήκος των καλωδίων κινούνται ελεύθερα ηλεκτρόνια που παράγονται από την μπαταρία.
- iii. Κατά μήκος των καλωδίων κινούνται τα ελεύθερα ηλεκτρόνια τους, λόγω της διαφοράς δυναμικού που δημιουργεί η μπαταρία στα άκρα τους.
- iv. Η ενέργεια, που προσφέρει η μπαταρία στο κύκλωμα, μετατρέπεται σε φωτεινή ενέργεια και θερμότητα στον λαμπτήρα.

4. Να συμπληρωθούν οι λέξεις που λείπουν από το παρακάτω κείμενο έτσι ώστε οι προτάσεις που προκύπτουν να είναι επιστημονικά ορθές:

Ένα ηλεκτρικό κύκλωμα είναι ..... όταν ανάμεσα στα δύο άκρα του διακόπτη παρεμβάλλεται σχοινί και ..... όταν παρεμβάλλεται αλουμινόχαρτο.

Η μπαταρία, ο λαμπτήρας, ο διακόπτης, το αμπερόμετρο, το βολτόμετρο, το ψυγείο και η τηλεόραση είναι όλα ηλεκτρικά ..... . Κάποια από αυτά λειτουργούν ως ..... και κάποια ως .....

5. Επίλεξε τη σωστή απάντηση:

- i. Τα καλώδια έχουν περίβλημα από γραφίτη.
- ii. Τα καλώδια φτιάχνονται από σύρμα χαλκού.
- iii. Τα καλώδια φτιάχνονται από σύρμα ασημιού (αργύρου).
- iv. Τα καλώδια του σπιτιού μας είναι από αλουμινόχαρτο.

Εξήγησε τους λόγους για τους οποίους κάνεις την επιλογή της απάντησης.

6. Έλεγξε τις γνώσεις σου.



7. Τι θα συμβεί στη φωτοβολία ενός λαμπτήρα που είναι συνδεδεμένος με μπαταρία 1,5V, αν την αντικαταστήσουμε με μπαταρία 4,5V;

8. Έλεγξε τις γνώσεις σου.



9. Αν συνδεθεί ένα λαμπάκι σε μια μπαταρία, ποια από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστή;

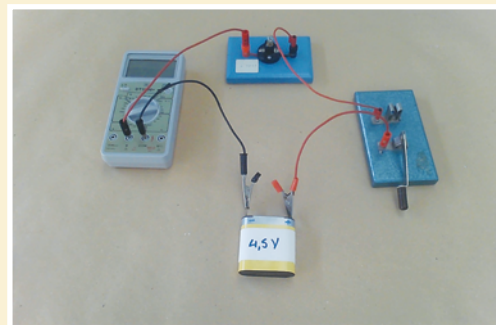
- i. Το λαμπάκι φωτοβολεί εντονότερα αν συνδεθεί πιο κοντά στον θετικό πόλο της μπαταρίας.
- ii. Το λαμπάκι φωτοβολεί εντονότερα αν συνδεθεί πιο κοντά στον αρνητικό πόλο της μπαταρίας.
- iii. Το λαμπάκι φωτοβολεί το ίδιο όπου και να συνδεθεί.

10. Έλεγξε τις γνώσεις σου.



## Ασκήσεις

1. Να σχεδιαστεί σχηματικά το κύκλωμα της εικόνας.



2. Η μπαταρία ξιδιού (ένα ποτήρι ξίδι με ελάσματα ψευδαργύρου και χαλκού) δίνει στα άκρα της 0,8V. Με πόσα βολτ άναψε το led της αντίστοιχης δραστηριότητας;

3. Α. Στον αγωγό του σχήματος ο αριθμός των ηλεκτρονίων που περνάνε σε 1 s από το Β είναι σε σχέση με τον αριθμό των ηλεκτρονίων που περνάνε από το Α:

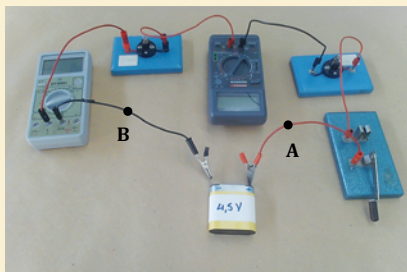


- i. Μεγαλύτερος.
- ii. Ίδιος.
- iii. Μικρότερος

Β. Αν τα βέλη δείχνουν τη φορά κίνησης των ηλεκτρονίων, αυτά ξεκίνησαν από τον ..... πόλο της πηγής και καταλήγουν στον ..... πόλο της.

4. Επίλεξε τη σωστή πρόταση και εξήγησε τον λόγο. Στο παρακάτω κύκλωμα, κλείνοντας τον διακόπτη:

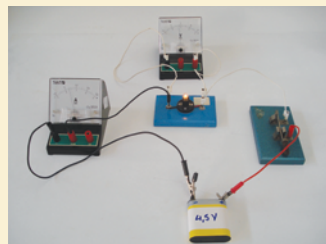
- i.  $I_A > I_B$  γιατί τα θετικά φορτία περνάνε πρώτα από το Α και μετά από το Β και όσο προχωράνε ο αριθμός τους μειώνεται.
- ii.  $I_A > I_B$  γιατί τα ηλεκτρόνια περνάνε πρώτα από το Α και μετά από το Β και όσο προχωράνε ο αριθμός τους μειώνεται.
- iii.  $I_A = I_B$  γιατί όσα θετικά φορτία περνάνε από το Α περνάνε και από το Β στο ίδιο χρονικό διάστημα.
- iv.  $I_A = I_B$  γιατί όσα ηλεκτρόνια περνάνε από το Α περνάνε και από το Β στο ίδιο χρονικό διάστημα.



### Προβλήματα

1. Στο παρακάτω κύκλωμα να υπολογιστεί η ένδειξη του αμπερομέτρου, αν γνωρίζεις ότι σε ένα λεπτό έχουν περάσει από τον λαμπτήρα  $3 \times 10^{20}$  ηλεκτρόνια.

Δίνεται το φορτίο του ηλεκτρονίου  $e = 1,6 \times 10^{-19}$  C.



2. Από μια διατομή αγωγού περνούν  $3 \times 10^{18}$  ηλεκτρόνια το λεπτό.

Τι θα συμβεί με την ένταση του ρεύματος αν:

- i. περιμένουμε 2 λεπτά.
- ii. αλλάξουμε την μπαταρία και περνούν  $1,5 \times 10^{18}$  ηλεκτρόνια το λεπτό.
- iii. αλλάξουμε την μπαταρία και περνούν  $6 \times 10^{18}$  ηλεκτρόνια το λεπτό.

## 1.5 Ηλεκτρική αντίσταση Νόμος του Ohm

### Μετά από αυτή την ενότητα θα είσαι σε θέση να:

1. αναγνωρίζεις την ύπαρξη ηλεκτρικής αντίστασης σε κάθε ηλεκτρική διάταξη.
2. αναφέρεις και να διερευνάς πειραματικά τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η ηλεκτρική αντίσταση ενός αγωγού και να δίνεις τη μικροσκοπική ερμηνεία.
3. διαπιστώνεις πειραματικά τον νόμο του Ohm και να τον εφαρμόζεις σε απλά προβλήματα.
4. ορίζεις την ηλεκτρική αντίσταση και τις μονάδες μέτρησής της.

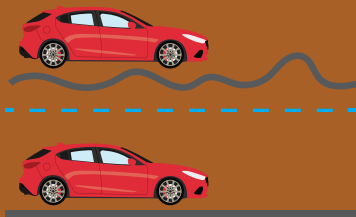


Από την εμπειρία μας γνωρίζουμε ότι ο οδηγός του αυτοκινήτου της εικόνας 1.5.1 θα προτιμήσει τον ομαλό από τον ανώμαλο δρόμο, αν έχει αυτήν τη δυνατότητα.

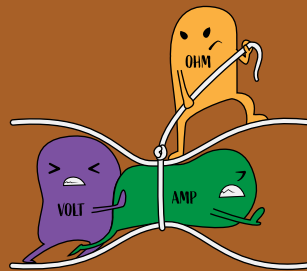
Στον ομαλό δρόμο κινείται γρηγορότερα, καταναλώνει λιγότερα καύσιμα, άρα και ενέργεια και φυσικά το αυτοκίνητο καταπονείται λιγότερο.

Όλα αυτά θα προσπαθήσουμε να τα συνδέσουμε με την εικόνα 1.5.2.

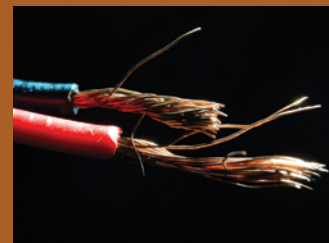
Στη συνέχεια θα μπορέσουμε να καταλάβουμε γιατί χρησιμοποιούμε τόσο πολλούς και διαφορετικούς αγωγούς, όπως στις εικόνες.



Εικόνα 1.5.1: Αυτοκίνητο σε ανώμαλο και ομαλό δρόμο.



Εικόνα 1.5.2: Υπάρχει κάτι που «δυσκολεύει» το ηλεκτρικό ρεύμα να περάσει.



Εικόνα 1.5.3: Καλώδιο σύνδεσης.



Εικόνα 1.5.4: Θερμαντικό στοιχείο.



Εικόνα 1.5.5 Σύρμα βολφραμίου σε λαμπτήρα πυράκτωσης.



Βίντεο 1.5.1: Το σύρμα βολφραμίου σε λαμπτήρα πυράκτωσης στο μικροσκόπιο.



**Για τις δραστηριότητες της παραγράφου αυτής θα χρειαστούν:**

Αλουμινόχαρτο, μία μπαταρία 4,5V, δύο μπαταρίες 4,5V ανοιγμένες, λαμπάκια (4,5V - 0,5A) σε λυχνιολαβή, καλώδια σύνδεσης, 1 μύτη μηχανικού μολυβιού HB διαμέτρου 2 mm, 1 μύτη μηχανικού μολυβιού 2B διαμέτρου 2 mm, 5 ίδιες μύτες μηχανικού μολυβιού 0,7 mm, κεραμική αντίσταση 22,5Ω, διακόπτης, βολτόμετρο, αμπερόμετρο ή πολύμετρο.



## Ας αναρωτηθούμε

1. Γιατί τα καλώδια σύνδεσης έχουν στο εσωτερικό τους χάλκινα σύρματα;
2. Γιατί τα θερμαντικά στοιχεία είναι κατασκευασμένα από σύρμα χρωμονικελίνης ή κονσταντάνης;
3. Γιατί οι λαμπτήρες πυράκτωσης περιέχουν σύρμα βολφραμίου;

## Η ηλεκτρική αντίσταση

### Πρακτική δραστηριότητα:



Σε ένα απλό ηλεκτρικό κύκλωμα θα μεταβληθεί η φωτεινότητα του λαμπτήρα αν αλλάξεις καλώδια;

ΝΑΙ

ΟΧΙ

ΚΑΠΟΙΕΣ ΦΟΡΕΣ



Σύνδεσε ένα λαμπάκι με μπαταρία, παρεμβάλλοντας ένα κομμάτι αλουμινόχαρτου, χρησιμοποιώντας τα καλώδια του εργαστηρίου.

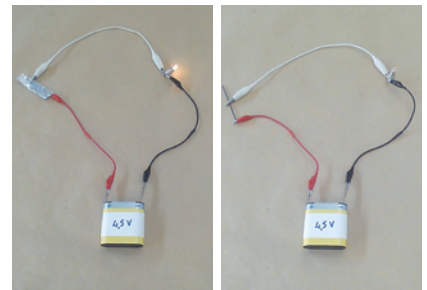
Το λαμπάκι ανάβει; .....

**Αντικατάστησε το αλουμινόχαρτο** με μια μύτη μολυβιού, ίδιου μήκους. Η φωτοβολία του λαμπτήρα εξακολουθεί να είναι η ίδια;

.....  
 .....

Αν δεν παρεμβάλεις τίποτα, τότε ουσιαστικά παρεμβάλλεται αέρας. Το λαμπάκι ανάβει;

.....  
 .....



**Εικόνα 1.5.6:** Η παρεμβολή μύτης μολυβιού οδηγεί σε σημαντικά μειωμένη φωτεινότητα του λαμπτήρα σε σχέση με το αλουμινόχαρτο, ενώ όταν παρεμβάλλεται αέρας το λαμπάκι είναι φυσικά σβηστό.



Με την αντικατάσταση του αλουμινόχαρτου από μύτη, η φωτοβολία του λαμπτήρα ..... Αυτό φανερώνει ότι ο γραφίτης (μύτη μολυβιού) δυσκολεύει ..... το ηλεκτρικό ρεύμα να περάσει μέσα από το ..... Αν αφήσουμε τα καλώδια χωρίς να τα ενώσουμε και παρεμβάλλεται αέρας, δεν υπάρχει καθόλου ..... Συνεπώς ο αέρας είναι .....



## Ηλεκτρική αντίσταση

Κάθε αγωγός σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα προβάλλει κάποια «δυσκολία»<sup>1</sup> στην κυκλοφορία του ηλεκτρικού ρεύματος. Η «δυσκολία» αυτή εκφράζεται από το φυσικό μέγεθος που ονομάζεται **ηλεκτρική αντίσταση** του αγωγού.

Η ηλεκτρική αντίσταση ενός αγωγού καθορίζει την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος για δεδομένη διαφορά δυναμικού. Το σύμβολο του φυσικού μεγέθους της ηλεκτρικής αντίστασης είναι το  $R$ . **Η ηλεκτρική αντίσταση ενός αγωγού ορίζεται από το πηλίκο της διαφοράς δυναμικού ή τάσης  $V$  στα άκρα του αγωγού προς την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος  $I$  το οποίο περνά μέσα από τον αγωγό, δηλαδή:**

$$R = \frac{V}{I} \quad (1.5.1)$$

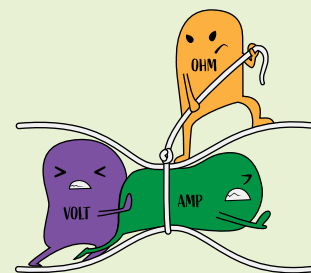
Μονάδα ηλεκτρικής αντίστασης στο S.I. είναι το  $1\Omega$  (Ωμ). Όταν η αντίσταση ενός αγωγού είναι  $1\Omega$  τότε τάση  $1V$  στα άκρα του τμήματος αυτού προκαλεί ηλεκτρικό ρεύμα με ένταση  $1A$ .

## Στον μικρόκοσμο των καλωδίων

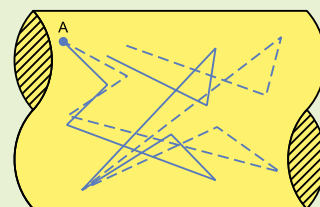
Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια των μετάλλων, καθώς κινούνται, αλληλεπιδρούν με τα θετικά ιόντα του σύρματος, τα οποία ταλαντώνονται γύρω από τις θέσεις τους. Καθώς πραγματοποιούνται περίπου ένα δισεκατομμύριο συγκρούσεις το δευτερόλεπτο, χάνουν μέρος της κινητικής τους ενέργειας, η οποία μετατρέπεται σε θερμική και τα καλώδια **θερμαίνονται**. Την ενέργεια αυτή τους την προσφέρει όμως και πάλι η πηγή, οπότε ανάμεσα στις κρούσεις επιταχύνονται. Παρουσιάζεται έτσι αντίσταση στην προσανατολισμένη κίνησή τους, δηλαδή αντίσταση στο ηλεκτρικό ρεύμα.

Όμως με τι ταχύτητα κινούνται τα ελεύθερα ηλεκτρόνια μέσα στο μέταλλο; Στην εικόνα 1.5.7 η συνεχής γραμμή παριστάνει μια πιθανή διαδρομή ελεύθερου ηλεκτρονίου που κάποια χρονική στιγμή βρίσκεται στο σημείο A και αλληλεπιδρά με τα θετικά ιόντα του μετάλλου κινούμενο με μέση ταχύτητα  $1/200$  της ταχύτητας του φωτός! Όταν όμως εφαρμόσουμε διαφορά δυναμικού στα άκρα του αγωγού, το ελεύθερο ηλεκτρόνιο, εκτός από την προηγούμενη κίνηση, πραγματοποιεί και μια επιπλέον μετακίνηση προς τα δεξιά, όπως δείχνει η διακεκομμένη γραμμή. Η αλλοίωση όμως της τροχιάς είναι υπερτονισμένη στην εικόνα για εποπτικούς λόγους, καθώς η ταχύτητα με την οποία κινείται το ηλεκτρόνιο προς τα δεξιά είναι μικρότερη και από αυτήν ενός σαλιγκαριού! Ονομάζεται μάλιστα **ταχύτητα διολίσθησης**.

Μπορείς να εξοικειωθείς με την έννοια της αντίστασης στον μικρόκοσμο των καλωδίων μέσω της προσομοίωσης.



<sup>1</sup> Η λέξη δυσκολία είναι σε εισαγωγικά, γιατί το φαινόμενο είναι πολύ πιο σύνθετο σε μικροσκοπικό επίπεδο.



**Εικόνα 1.5.7:** Ηλεκτρόνιο χωρίς εφαρμογή διαφοράς δυναμικού (συνεχής γραμμή) και με εφαρμογή διαφοράς δυναμικού (διακεκομμένη γραμμή).



Μια σύγκριση μεταξύ των ταχυτήτων!



## Αγωγοί, μονωτές και ημιαγωγοί – Μια μικρή επέκταση

Γνωρίζουμε μέχρι στιγμής ότι οι αγωγοί είναι υλικά που επιτρέπουν τη μετακίνηση ηλεκτρικών φορτίων μέσα τους και εμφανίζουν μικρή ή μεγάλη αντίσταση.

Οι μονωτές όμως πρακτικά δεν επιτρέπουν τη μετακίνηση φορτίων και εμφανίζουν εξαιρετικά μεγάλη αντίσταση, καθώς δε διαθέτουν ελεύθερα ηλεκτρόνια.

Υπάρχουν όμως και οι ημιαγωγοί. Είναι υλικά που άλλοτε συμπεριφέρονται ως αγωγοί και άλλοτε ως μονωτές, ανάλογα με τη διαφορά δυναμικού που εφαρμόζεται στα άκρα τους και τη θερμοκρασία τους.

## Ο νόμος του Ohm

### Εργαστηριακή δραστηριότητα:



Είναι δυνατόν να υπολογίσεις την ηλεκτρική αντίσταση ενός αντικειμένου;



Χρησιμοποιώντας τις δύο ανοιγμένες μπαταρίες, την κεραμική αντίσταση  $22,5\Omega$ , το βολτόμετρο, το αμπερόμετρο, τον διακόπτη και καλώδια, πραγματοποιήσε το κύκλωμα της εικόνας 1.5.8, συνδέοντας μόνο ένα από τα στοιχεία της μπαταρίας. Ζήτησε από τον/την καθηγητή/τρια να ελέγξει το κύκλωμα και μετά κλείσε τον διακόπτη.

Καταχώρισε τις τιμές των ενδείξεων του βολτόμετρου και του αμπερόμετρου στον πίνακα 1.5.1.

Άλλαξε την τάση της πηγής από 1,5 ως 7,5V, συνδέοντας διαδοχικά στο κύκλωμα και άλλα στοιχεία των μπαταριών, και συμπλήρωσε τον πίνακα 1.5.1.

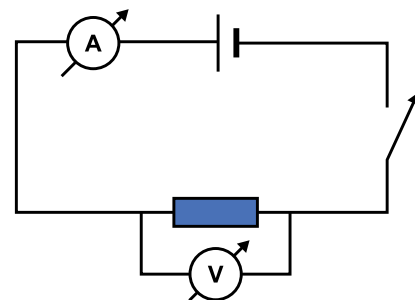
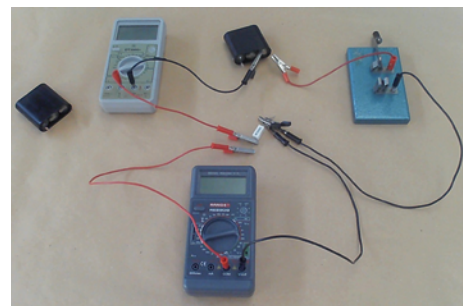
**Σημείωση:** Η κεραμική αντίσταση, όπως αποκαλείται στο εμπόριο, αποτελείται από ένα μείγμα με ομοιόμορφα καταναμημένο αγώγιμο υλικό μέσα σε κεραμικό υλικό και τσιμέντο.

Με τις τιμές του πίνακα 1.5.1 κάνε τη γραφική παράσταση έντασης -τάσης.

Πίνακας 1.5.1		
Ένδειξη Βολτόμετρου (V)	Ένδειξη Αμπερόμετρου (A)	$R=V/I$ ( $\Omega$ )
0	0	-
Μέση τιμή της αντίστασης $R$ :		

ΝΑΙ

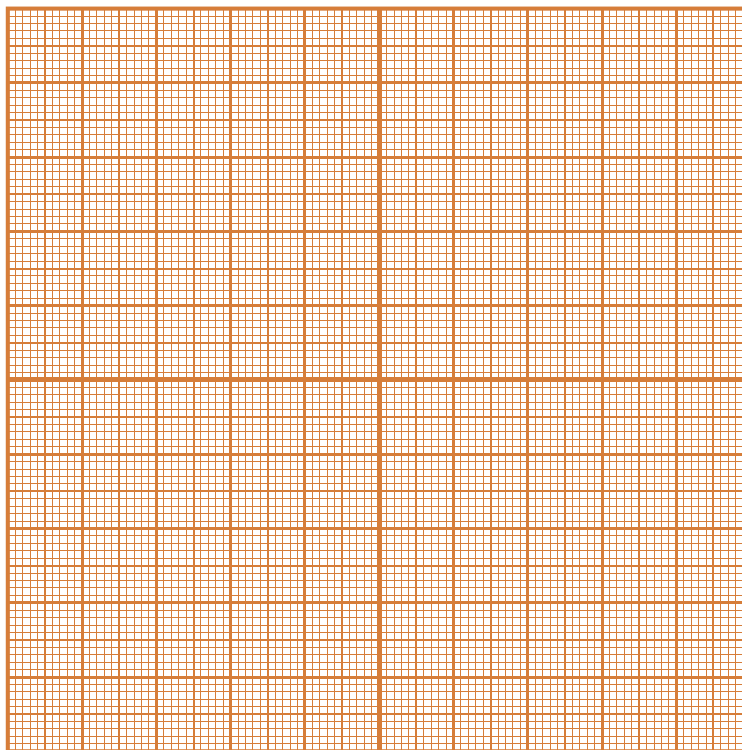
ΟΧΙ



Εικόνα 1.5.8: Η συνδεσμολογία και η σχηματική της παράσταση.



Ενδεικτικές τιμές και γραφική παράσταση.



Πριν συνδέσω την πηγή στο κύκλωμα, οπότε  $V=0$ , το ρεύμα είναι .....

Από τη γραμμή της γραφικής παράστασης προκύπτει ότι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος είναι ..... της τάσης που εφαρμόζεται στην αντίσταση.

Η κλίση της γραφικής παράστασης είναι (υπολογισμός).

.....

Η κλίση εκφράζει την .....

Συγκρίνοντας τη μέση τιμή της αντίστασης, την τιμή που βρήκα από τη γραφική παράσταση και την αναγραφόμενη τιμή στην κεραμική συμπεραίνω ότι .....

.....

### Πειραματική δραστηριότητα:



Αν αντικαταστήσεις την κεραμική αντίσταση με έναν λαμπτήρα, η γραφική παράσταση είναι ίδια;



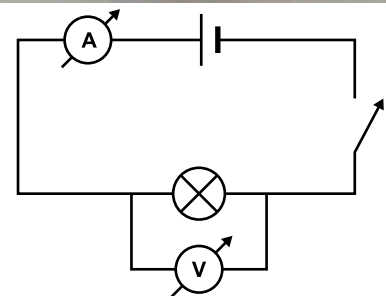
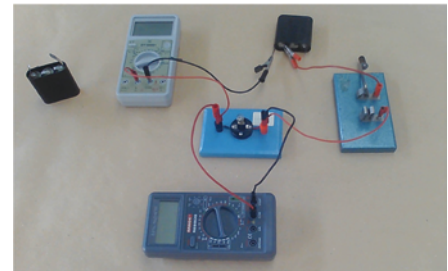
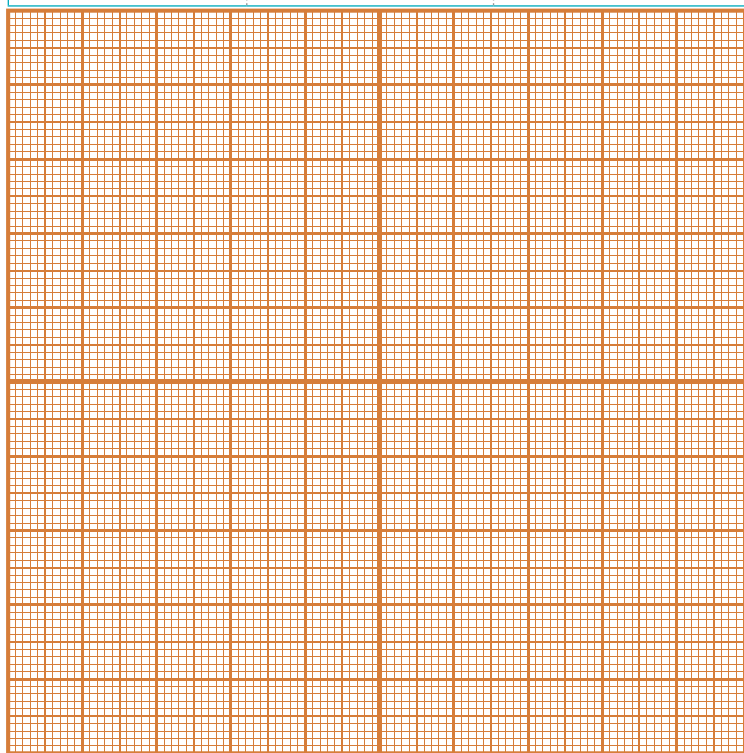
**Επανάλαβε** το προηγούμενο πείραμα αντικαθιστώντας την κεραμική αντίσταση με λαμπτήρα. Μην ξεχάσεις να ζητήσεις από τον/την καθηγητή/τρια να ελέγξει το κύκλωμα πριν κλείσεις τον διακόπτη.

Για τάσεις από 1,5 ως 6V καταχώρισε τις τιμές των ενδείξεων του βολτόμετρου και του αμπερόμετρου στον πίνακα 1.5.2.



Με τις τιμές του πίνακα 1.5.2 κάνε τη γραφική παράσταση έντασης - τάσης.

Πίνακας 1.5.2		
Ένδειξη Βολτόμετρου (V)	Ένδειξη Αμπερόμετρου (A)	$R=V/I$ (Ω)
0	0	-



Εικόνα 1.5.9: Η συνδεσμολογία και η σχηματική της παράσταση.



Ενδεικτικές τιμές και γραφική παράσταση.



Από τη μορφή της γραμμής της γραφικής παράστασης προκύπτει ότι:

.....  
 .....  
 .....

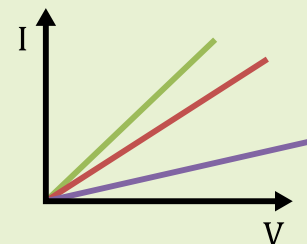


### Νόμος του Ohm

Η αντίσταση  $R$  ορισμένων αγωγών είναι σταθερή σε μια δεδομένη θερμοκρασία και δεν εξαρτάται από τη διαφορά δυναμικού που εφαρμόζεται στα άκρα τους. Οι αγωγοί αυτοί ονομάζονται ωμικοί και γι' αυτούς, η σχέση 1.5.1 δείχνει ότι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος στον αγωγό είναι ανάλογη με τη διαφορά δυναμικού στα άκρα τους και αντιστρόφως ανάλογη με την αντίστασή τους, δηλαδή:

$$I = \frac{V}{R} \quad (1.5.2)$$

Η εξίσωση 1.5.2 αναφέρεται ως νόμος του Ohm και η γραφική παράσταση της έντασης του ρεύματος που διαρρέει έναν αγωγό σε συνάρτηση με τη διαφορά



Εικόνα 1.5.10: Η γραφική παράσταση I-V για τρεις διαφορετικές ωμικές αντιστάσεις.

δυναμικού στα άκρα του θα είναι μια ευθεία που περνά από την αρχή των αξόνων.

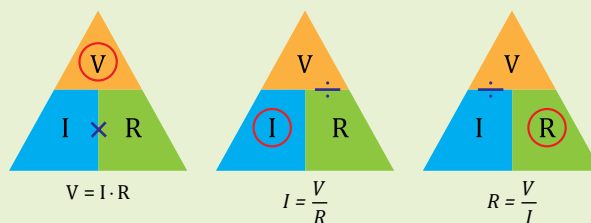
Συνεπώς, όταν αναφερόμαστε στην ωμική αντίσταση, αναφερόμαστε σε ένα δίπολο που υπακούει στον νόμο του Ohm.

Είναι σημαντικό να έχουμε υπόψη ότι πολλά υλικά και πολλά στοιχεία κυκλώματος δεν είναι ωμικά, όπως ακριβώς ο λαμπτήρας πυράκτωσης. Σε κάθε δίπολο η γραφική παράσταση  $I$ - $V$  ονομάζεται **χαρακτηριστική καμπύλη του διπόλου αυτού**.

Αξίζει να σημειώσουμε ότι με διαφορά δυναμικού μηδέν (χωρίς πηγή), η ένταση του ρεύματος είναι επίσης μηδέν. Άρα παρά το γεγονός ότι κάθε ηλεκτρόνιο στο μέταλλο έχει μια εξωφρενική ταχύτητα της τάξης του  $1/200$  της ταχύτητας του φωτός, η μέση ταχύτητα όλων των ελεύθερων ηλεκτρονίων είναι μηδέν.

### Μια απόδειξη της ύπαρξης ελεύθερων ηλεκτρονίων στα μέταλλα

Στο κύκλωμα της εικόνας 1.5.8, όσο και να μικρύνουμε τη διαφορά δυναμικού, έχουμε ανάλογα ένα μικρό ρεύμα. Δηλαδή δεν υπάρχει κατώφλι διαφοράς δυναμικού για την ύπαρξη ρεύματος. Συνεπώς τα ελεύθερα ηλεκτρόνια είναι εκεί, έτοιμα να υπακούσουν στις εντολές της πηγής!



Εικόνα 1.5.11: Μνημονικός κανόνας.

## Οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η ηλεκτρική αντίσταση ενός αγωγού

**Πειραματική δραστηριότητα:**

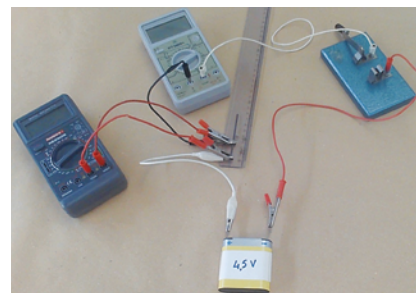
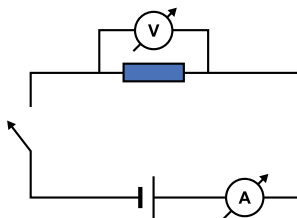


Από ποιους παράγοντες εξαρτάται η ηλεκτρική αντίσταση ενός αγωγού;



Για να μελετήσεις τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η ηλεκτρική αντίσταση ενός αγωγού θα πρέπει να εξετάσεις καθέναν από τους πιθανούς παράγοντες χωριστά.

**Κατασκεύασε το κύκλωμα της εικόνας 1.5.12, χρησιμοποιώντας μύτες μηχανικού μολυβιού, μπαταρία 4,5V, αμπερόμετρο, βολτόμετρο και διακόπτη.**



Εικόνα 1.5.12: Η συνδεσμολογία και η σχηματική της παράσταση.

Μην ξεχάσεις να ζητήσεις από τον/την καθηγητή/τρια να ελέγξει το κύκλωμα πριν κλείσεις τον διακόπτη.

**Προσοχή:** Κράτησε τον διακόπτη κλειστό για μικρό χρονικό διάστημα, ώστε να μη ζεσταθούν πολύ οι μύτες και αλλάξει σημαντικά η ηλεκτρική τους αντίσταση.

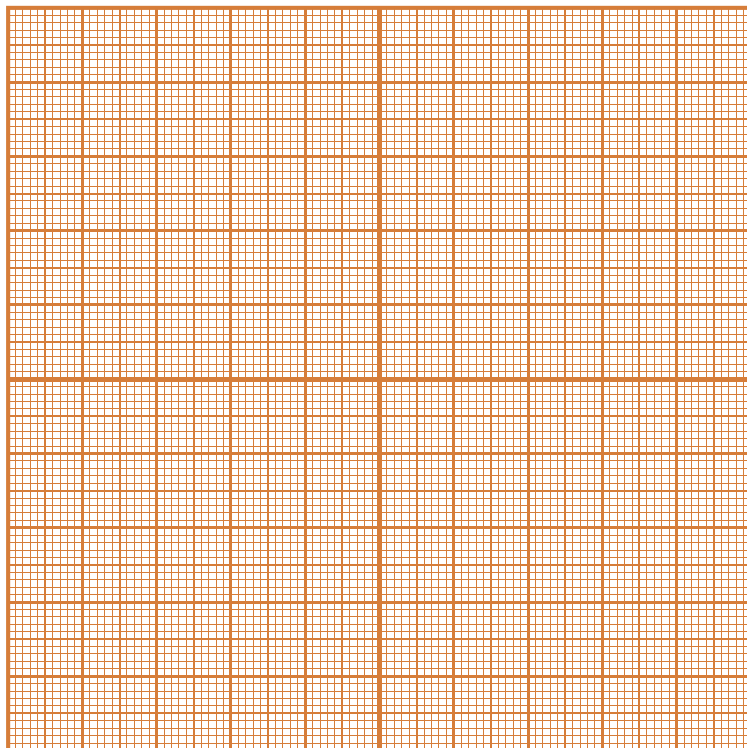
**Εξάρτηση από το μήκος**

Χρησιμοποίησε μία μύτη διατομής 2 mm και μετάβαλε το μήκος που παρεμβάλλεται στο κύκλωμα.

Συμπλήρωσε τον πίνακα 1.5.3.

Πίνακας 1.5.3			
Μήκος (cm)	Ένδειξη Βολτόμετρου (V)	Ένδειξη Αμπερόμετρου (A)	$R=V/I$ ( $\Omega$ )
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

Με τις τιμές του πίνακα 1.5.3 κάνε τη γραφική παράσταση αντίστασης-μήκους.



Από τη μορφή της γραμμής της γραφικής παράστασης προκύπτει ότι:

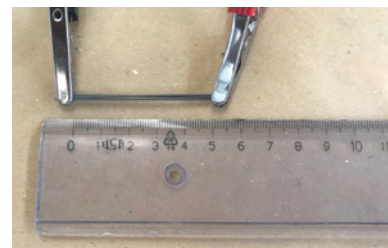
- .....
- .....
- .....
- .....

## Εξάρτηση από το εμβαδόν διατομής

Χρησιμοποίησε 4 ίδιες μύτες διατομής 0,7 mm (βγαλμένες από το ίδιο κουτάκι γιατί από παρτίδα σε παρτίδα τα χαρακτηριστικά αλλάζουν).

Αρχικά σύνδεσε στο κύκλωμα μία μύτη, μετά δύο μαζί κ.ο.κ., προσέχοντας το μήκος που παρεμβάλλεται στο κύκλωμα να είναι πάντα το ίδιο. Κάθε φορά που προσθέτεις μια μύτη, αυξάνεις το εμβαδόν διατομής κατά το ίδιο ποσό.

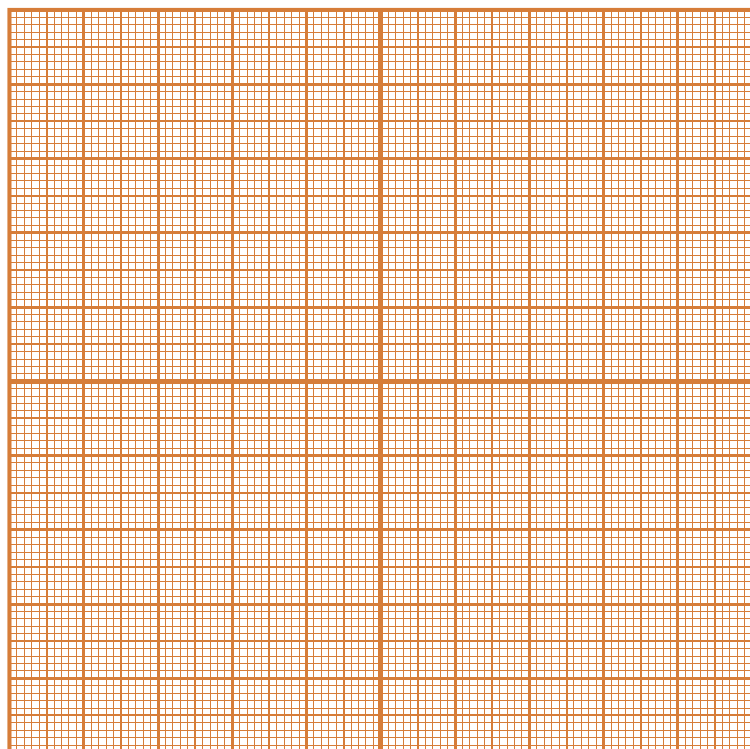
Συμπλήρωσε τον πίνακα 1.5.4.



Εικόνα 1.5.13: Παράδειγμα σύνδεσης τριών μυτών.

Πίνακας 1.5.4			
Αριθμός μυτών	Ένδειξη Βολτόμετρου (V)	Ένδειξη Αμπερόμετρου (A)	$R=V/I$ ( $\Omega$ )
1			
2			
3			
4			

Με τις τιμές του πίνακα 1.5.4 κάνε τη γραφική παράσταση αντίστασης-αριθμού μυτών.



Από τη μορφή της γραμμής της γραφικής παράστασης προκύπτει ότι:

.....

.....

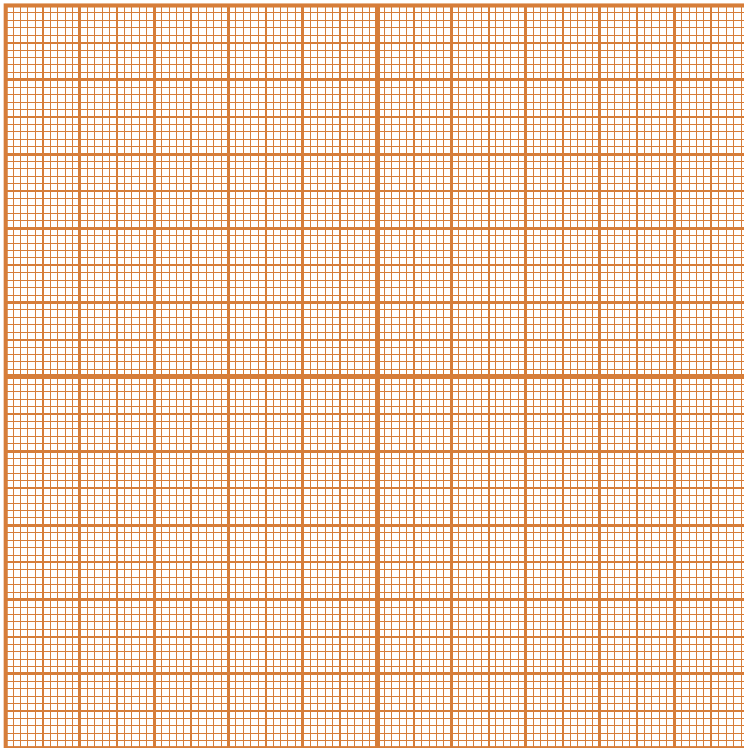
.....

.....

Με τις τιμές του πίνακα 1.5.4, συμπλήρωσε τον πίνακα 1.5.5.

Με τις τιμές του πίνακα 1.5.5 κάνε τη γραφική παράσταση της αντίστασης σε σχέση με τον αντίστροφο του αριθμού των μυτών, δηλαδή  $R - 1/\text{αριθμός μυτών}$ .

Πίνακας 1.5.5	
1/ Αριθμός μυτών	$R=V/I$ ( $\Omega$ )
1	
1/2	
1/3	
1/4	



Από τη μορφή της γραμμής της γραφικής παράστασης προκύπτει ότι:

.....

.....

.....

.....

### Εξάρτηση από το υλικό

Χρησιμοποίησε 2 μύτες ίδιας διατομής, η μία τύπου 2B και η άλλη HB.

Αρχικά σύνδεσε στο κύκλωμα τη μία μύτη και μετά την άλλη, προσέχοντας το μήκος που παρεμβάλλεται στο κύκλωμα να είναι πάντα το ίδιο. Συμπληρώνουμε τον πίνακα 1.5.6.

Πίνακας 1.5.6			
Μύτη	Ένδειξη Βολτόμετρου (V)	Ένδειξη Αμπερόμετρου (A)	$R=V/I$ (Ω)
2B			
HB			



Το συμπέρασμα που προκύπτει από τα δεδομένα του πίνακα 1.5.6 είναι ότι η ηλεκτρική αντίσταση εξαρτάται από το ..... του αγωγού.



Ενδεικτικές τιμές και γραφικές παραστάσεις.



Εναλλακτικά, μπορείς να κάνεις τα πειράματα σχετικά με τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η ηλεκτρική αντίσταση ενός ωμικού αγωγού, μέσω της προσομοίωσης. Σχεδιάσε τα κατάλληλα, κάνε τις γραφικές παραστάσεις και συμπλήρωσε τα συμπεράσματα.



## Παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η αντίσταση ενός αγωγού

Η αντίσταση  $R$  ενός μεταλλικού αγωγού σε δεδομένη θερμοκρασία εξαρτάται από το υλικό του αγωγού, είναι ανάλογη του μήκους του και αντιστρόφως ανάλογη του εμβαδού διατομής του

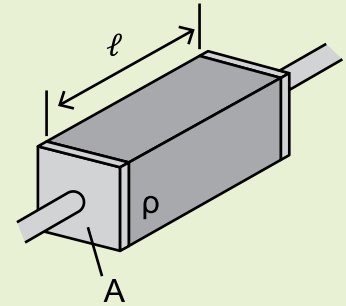
$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (1.5.3)$$

όπου  $l$  το μήκος του αγωγού,  $A$  το εμβαδόν διατομής του και  $\rho$  η ειδική αντίσταση του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένος ο αγωγός. Η ειδική αντίσταση, όπως φανερώνει και η σχέση 1.5.3, μετριέται σε  $\Omega \cdot m$ .

Όσο μεγαλώνει η θερμοκρασία του αγωγού, τα ιόντα του ταλαντώνονται πιο ζωηρά. Οι αλληλεπιδράσεις με τα ελεύθερα ηλεκτρόνια αυξάνονται και η ειδική αντίσταση του αγωγού μεγαλώνει.

Υπάρχουν αγωγοί, όπως ο χαλκός, ο άργυρος και ο χρυσός, των οποίων η ειδική αντίσταση είναι πάρα πολύ μικρή και στις περισσότερες εφαρμογές η αντίστασή τους μπορεί να αγνοηθεί. Αγωγοί που έχουν σημαντική ειδική αντίσταση η οποία αυξάνεται αρκετά με την αύξηση της θερμοκρασίας, όπως το βολφράμιο, και υλικά των οποίων η ειδική αντίσταση δεν αυξάνεται σχεδόν καθόλου με την αύξηση της θερμοκρασίας, όπως η κωνσταντάνη. Επίσης, υπάρχουν ανθεκτικά και αξιόπιστα αγώγιμα υλικά που αντέχουν σε ακραίες συνθήκες λειτουργίας και τα οποία έχουν σημαντική ειδική αντίσταση, όπως η χρωμονικελίνη. Ο γραφίτης, από την άλλη πλευρά, αποτελεί μια ενδιαφέρουσα εξαίρεση, καθώς με την αύξηση της θερμοκρασίας όλο και περισσότερα άτομα άνθρακα απελευθερώνουν ηλεκτρόνια, οπότε η ηλεκτρική του αντίσταση μειώνεται.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, δεν έχει νόημα να μιλάμε για την αντίσταση ενός υλικού αλλά για την αντίσταση μίας κατασκευής-διάταξης.



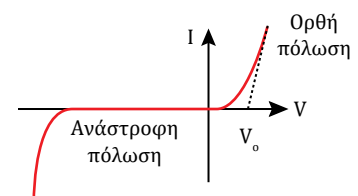
Επεκτάσεις πάνω στη λειτουργία μη ωμικών αγωγών.



## Διεπιστημονικές – Διαθεματικές Εφαρμογές της Θεωρίας, Γενίκευση, Εμπέδωση, Ερμηνείες με τον μικρόκοσμο

### 1. Δίοδος και LED

Στα ηλεκτρονικά, η δίοδος επιτρέπει στο ηλεκτρικό ρεύμα να περάσει προς τη μια κατεύθυνση (ορθή πόλωση), αλλά εμποδίζει την κίνηση φορτίων προς την αντίθετη κατεύθυνση (αντίστροφη πόλωση). Έτσι, μπορεί να θεωρηθεί ως μια ηλεκτρονική εκδοχή της βαλβίδας σε έναν σωλήνα νερού, η οποία δεν επιτρέπει ροή αντίθετη από την επιθυμητή. Οι περισσότερες δίοδοι είναι κατασκευασμένες από ημιαγωγούς, όπως πυρίτιο ή γερμάνιο. Αν η τάση, σε μια αντίστροφα πολωμένη δίοδο, ξεπεράσει μια συγκεκριμένη τιμή (που εξαρτάται από τη συγκεκριμένη δίοδο), η ηλεκτρική της αντίσταση ελαχιστοποιείται και περνά πολύ μεγάλο ρεύμα το οποίο μπορεί να βλάψει τη δίοδο ή το κύκλωμα. Έχουμε λοιπόν μια μη γραμμική συμπεριφορά ρεύματος - τάσης, αλλά υπάρχει μια περιοχή τάσεων όπου η δίοδος συμπεριφέρεται ως ωμική αντίσταση.



Εικόνα 1.5.14: Χαρακτηριστική καμπύλη διόδου και LED.



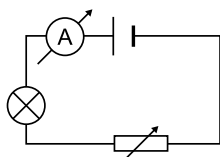
Εικόνα 1.5.15: LED διαφόρων τύπων και χρωμάτων.

Τη δεκαετία του 1920 ο Oleg Vladimirovich Losev εφεύρε το LED. Ο Losev παρατήρησε ότι οι δίοδοι που χρησιμοποιούσαν οι ραδιοφωνικοί δέκτες, παρήγαγαν φως όταν διερχόταν από αυτές ηλεκτρικό ρεύμα. Έτσι, το 1927 παρουσίασε σε μια έκθεση το πρώτο LED (light-emitting diode). Για δεκαετίες δεν σημειώθηκε καμία πρόοδος. Στις δεκαετίες '60 και '70 όμως άρχισαν να κατασκευάζονται αλλά ήταν πάρα πολύ ακριβά. Σήμερα, με τη χρήση καινοτόμων μεθόδων συναρμολόγησης και προηγμένων διαδικασιών παραγωγής, το LED έγινε ένα εμπορικό προϊόν με ευρύ φάσμα εφαρμογών.

Το χρώμα του φωτός που εκπέμπεται από ένα LED εξαρτάται από τη χημική σύσταση του ημιαγωγικού υλικού που χρησιμοποιείται και μπορεί να είναι υπεριώδες, ορατό ή υπέρυθρο. Η τάση  $V_0$  που βρίσκεται αν προεκτείνουμε το ευθύγραμμο τμήμα της χαρακτηριστικής καμπύλης ονομάζεται τάση ενεργοποίησης και είναι η τάση στην οποία το LED ξεκινά να παράγει φως.

## 2. Ροοστάτης

Η ηλεκτρική αντίσταση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ρύθμιση της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος σε ένα κύκλωμα. Αυτό το πετυχαίνουμε εύκολα με τη χρήση μεταβλητών αντιστάσεων.



Εικόνα 1.5.17: Σχηματική παράσταση κυκλώματος με ροοστάτη.

Η μεταβλητή αντίσταση που υπάρχει στο σχολικό εργαστήριο φαίνεται στην εικόνα 1.5.16. Αποτελείται από ισοπαχές ομογενές σύρμα τυλιγμένο ομοιόμορφα πάνω σε κύλινδρο από μονωτικό υλικό, το οποίο φέρει μια συρόμενη επαφή (δρομέα).

Εφόσον η αντίσταση του σύρματος είναι ανάλογη του μήκους του, η αντίσταση που παρεμβάλλεται μεταξύ του δρομέα και του ενός άκρου της αντίστασης είναι ανάλογη με την απόσταση του δρομέα από το άκρο αυτό. Φυσικά, όσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση, τόσο μικρότερο το ρεύμα.



Εικόνα 1.5.16: Μεταβλητή αντίσταση εργαστηρίου.



Βίντεο 1.5.2: Ο ροοστάτης σε λειτουργία.

## 3. Χρωματικός κώδικας ηλεκτρικών αντιστάσεων μεμβράνης άνθρακα και μεμβράνης μετάλλου

Οι χρωματικοί κώδικες εμφανίζονται στα ηλεκτρονικά τόσο σε αντιστάσεις όσο και σε πυκνωτές, πηνία, μετασχηματιστές κ.ά.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές που αντιστοιχούν σε κάθε χρώμα σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60062 ed5.0 της Διεθνούς Επιτροπής Ηλεκτροτεχνικών (IEC - International Electrotechnical Commission) και αφορούν τις αντιστάσεις μεμβράνης (άνθρακα ή μετάλλου). Μια τέτοια αντίσταση αποτελείται από έναν μονωτικό κύλινδρο, πάνω στον οποίο τυλίγεται, με ειδική διαδικασία, σπειροειδής λωρίδα μετάλλου ή άνθρακα.



Εικόνα 1.5.18: Αντίσταση άνθρακα 0,26Ω και ανοχή 5%.



Εικόνα 1.5.19: Το εσωτερικό αντίστασης μεμβράνης.

Χρώμα	1η γραμμή	2η γραμμή	3η γραμμή πολλαπλασιαστής	4η γραμμή ανοχή
Μαύρο	0	0	$\times 10^0$	
Καφέ	1	1	$\times 10^1$	$\pm 1\%$
Κόκκινο	2	2	$\times 10^2$	$\pm 2\%$
Πορτοκαλί	3	3	$\times 10^3$	
Κίτρινο	4	4	$\times 10^4$	
Πράσινο	5	5	$\times 10^5$	$\pm 0,5\%$
Μπλε	6	6	$\times 10^6$	$\pm 0,25\%$
Μοβ	7	7	$\times 10^7$	$\pm 0,1\%$
Γκρι	8	8	$\times 10^8$	$\pm 0,05\%$
Λευκό	9	9	$\times 10^9$	
Χρυσό			$\times 0,1$	$\pm 5\%$
Ασημί			$\times 0,01$	$\pm 10\%$
Κανένα				$\pm 20\%$

#### 4. Διερεύνηση πηγών σφαλμάτων σε μετρήσεις με πολύμετρο

**Τα πολύμετρα** χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μέτρηση διαφόρων ηλεκτρικών παραμέτρων, όπως η τάση, το ρεύμα και η αντίσταση. Ωστόσο, μπορεί να υπάρχουν διάφορες πηγές σφαλμάτων που μπορεί να επηρεάσουν την πιστότητα και την ακρίβεια των μετρήσεων. Μερικές από τις κοινές πηγές σφαλμάτων είναι:

**Αντίσταση εισόδου:** Τα πολύμετρα έχουν υψηλή σύνθετη αντίσταση εισόδου, η οποία μερικές φορές μπορεί να επηρεάσει την ακρίβεια μέτρησης τάσης και η ένδειξη που παίρνουμε να είναι υψηλότερη ή χαμηλότερη από την πραγματική. Για να ελαχιστοποιήσουμε αυτό το σφάλμα, είναι σημαντικό να χρησιμοποιούμε την κατάλληλη κλίμακα για τη μέτρηση και να μη δουλεύουμε στο όριο των κλιμάκων.

**Θερμοκρασία:** Η θερμοκρασία μπορεί επίσης να επηρεάσει την ακρίβεια των μετρήσεων, γιατί είναι δυνατό να προκαλέσει αλλαγές στην αντίσταση του οργάνου.

**Θόρυβος:** Ο θόρυβος είναι μια πολύπλοκη έννοια και περιλαμβάνει κάθε αίτιο που μπορεί να επηρεάσει την αντίσταση του πολύμετρου ή της διάταξης στην οποία το συνδέουμε. Για τα απλά πειράματα στο σχολικό εργαστήριο δεν μας απασχολεί.

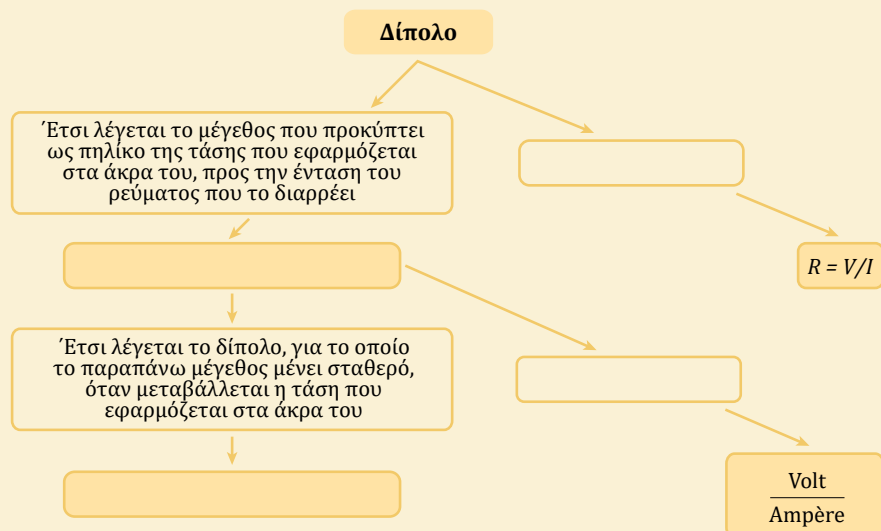
**Ανθρώπινο σφάλμα:** Ο ανθρώπινος παράγοντας μπορεί επίσης να προκαλέσει σφάλματα στις μετρήσεις με πολύμετρο. Για παράδειγμα, η λανθασμένη ανάγνωση της κλίμακας, η επιλογή λανθασμένης κλίμακας, ο λάθος τρόπος σύνδεσης ή τα φθαρμένα καλώδια σύνδεσης μπορεί να προκαλέσουν σφάλματα.

**Ηλικία και φθορά του πολύμετρου:** Με την πάροδο του χρόνου, η πιστότητα και η ακρίβεια των πολύμετρων μπορεί να υποβαθμιστεί λόγω ηλικίας και φθοράς. Για να ελαχιστοποιήσουμε τη φθορά, όταν δεν το χρησιμοποιούμε, αφαιρούμε την μπαταρία και το φυλάσσουμε στη θήκη του, σε χώρο χωρίς υγρασία.

### Ερωτήσεις

1. Από τους επτά (7) παρακάτω όρους και προτάσεις να επιλέξεις τους τέσσερις που συμπληρώνουν σωστά τον εννοιολογικό χάρτη και να τους γράψεις στην κατάλληλη θέση (στο κατάλληλο κενό):

- Η μαθηματική σχέση που μας δίνει την αντίσταση ηλεκτρικού δίπολου
- Μετριέται σε
- Αντίσταση
- Ένταση του ρεύματος
- Αμπερόμετρο
- Ωμική Αντίσταση
- Κύκλωμα



Έλεγξε τις επιλογές σου

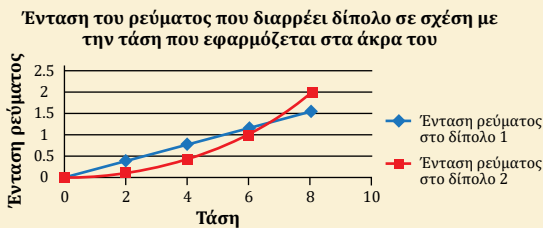
Εννοιολογικός χάρτης ενότητας 1.5

**2. Ποια από τις παρακάτω απαντήσεις είναι σωστή;**

Αν μεταβάλλεις την τάση στα άκρα αντίστασης, υπό σταθερή θερμοκρασία, τότε το πηλίκο  $V/I$ :

- i. αυξάνεται.
- ii. μειώνεται.
- iii. μένει σταθερό.
- iv. δεν επαρκούν τα δεδομένα για να απαντηθεί η ερώτηση.

**3. Να εξηγήσεις σε ποιο δίπολο η αντίστασή του μεταβάλλεται με την εφαρμοζόμενη τάση;**



**4. Από τις παρακάτω σχέσεις,**

A.  $V = I \cdot R$  B.  $I = \frac{V}{R}$  Γ.  $R = \frac{V}{I}$  Δ.  $I = V \cdot R$

εκφράζουν τον νόμο του Ohm:

- i. Όλες. iii. Μόνο οι Β και Δ.
- ii. Μόνο οι Α, Β και Γ. iv. Μόνο η Β.

**5. Να συμπληρώσεις τα κενά στον παρακάτω πίνακα.**

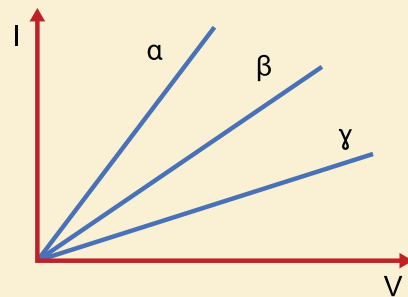
Σύμβολο μεγέθους	Όνομα μεγέθους	Μονάδες
	Αντίσταση	
V		
		Ampère

**6. Ποιες από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστές;**

- i. Η ηλεκτρική αντίσταση ενός χοντρού καλωδίου είναι μεγαλύτερη από την ηλεκτρική αντίσταση ενός λεπτού καλωδίου, ίδιου υλικού και ίδιου μήκους.

- ii. Αν η αντίσταση ενός κυκλώματος διπλασιαστεί και η τάση στα άκρα του παραμείνει η ίδια, η ένταση του ρεύματος που το διαρρέει θα γίνει η μισή.
- iii. Όταν διπλασιάζεται η τάση στα άκρα ενός ωμικού αγωγού, διπλασιάζεται και η τιμή της αντίστασής του.
- iv. Όσο μικρότερη είναι η ειδική αντίσταση ενός υλικού, τόσο καλύτερος αγωγός είναι το υλικό αυτό.

**7. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η γραφική παράσταση I-V για τους αγωγούς α, β και γ. Ποιος από τους τρεις παρουσιάζει τη μεγαλύτερη αντίσταση;**



**8. Ποιες από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστές;**

- i. Μονάδα μέτρησης της ειδικής αντίστασης είναι το  $1\Omega \cdot m$ .
- ii. Η ειδική αντίσταση ενός καλωδίου εξαρτάται από το μήκος του και το εμβαδόν διατομής του.
- iii. Δύο αγωγοί ίδιου μήκους, κατασκευασμένοι από το ίδιο υλικό, αλλά διαφορετικού εμβαδού διατομής, έχουν την ίδια ειδική αντίσταση στην ίδια θερμοκρασία.
- iv. Η ειδική αντίσταση μιας λάμπας πυράκτωσης, στους  $20^\circ C$  είναι  $6,5 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$ .
- v. Η ειδική αντίσταση του βολφραμίου στους  $20^\circ C$  είναι  $6,5 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$ .

**9. Η μαμά του Κωνσταντίνου αγόρασε έναν μεταλλικό δίσκο σερβιρίσματος και διάβασε στην ετικέτα του την εξής προειδοποίηση: «Το προϊόν περιέχει μικροσκοπικά, ηλεκτρικά φορτισμένα σωματίδια, που κινούνται με ταχύτητες μεγαλύτερες από 100.000.000 χιλιόμετρα την ώρα». Ο Κωνσταντίνος όμως την καθησύχασε. Τι λέτε να της είπε;**

## Ασκήσεις

1. Να υπολογίσεις την αντίσταση ενός αγωγού, όταν η τάση στα άκρα του είναι 200V και τον διαρρέει ρεύμα 2 A.
2. Από δύο δίπολα πήραμε τις μετρήσεις που δείχνει ο παρακάτω πίνακας. Να εξηγήσεις ποιο από τα δύο δίπολα συμπεριφέρεται ως ωμική αντίσταση.

Τάση (V)	δίπολο 1	δίπολο 2
	Ένταση του ρεύματος (μΑ)	Ένταση του ρεύματος (μΑ)
0	0	0
1,2	2,0	1,0
2,0	4,0	3,0
3,0	6,0	6,0
5,0	10,0	15,0

3. Ένα χάλκινο καλώδιο μήκους 10Km έχει αντίσταση 100Ω.

- i. Πόση θα γίνει η αντίστασή του αν το κόψουμε στη μέση και χρησιμοποιήσουμε το μισό;
- ii. Πόση θα γίνει η αντίστασή του αν το διπλώσουμε στη μέση και το χρησιμοποιήσουμε σαν ένα καλώδιο;
- iii. Γιατί για τη μεταφορά μεγάλων ρευμάτων χρησιμοποιούμε χοντρά καλώδια και όχι λεπτά;

## Προβλήματα

1. Η Ηλέκτρα είναι μαθήτρια της Γ' Γυμνασίου και διαθέτει τα εξής στοιχεία:

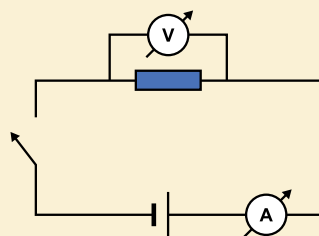
Πηγή που μπορεί να μεταβάλλει την τάση της, διακόπτη, καλώδια, δύο δίπολα, αμπερόμετρο και βολτόμετρο.

Με αυτά φτιάχνει ένα κύκλωμα με το πρώτο δίπολο, μεταβάλλει την τάση στα άκρα του διπόλου και μετρά το ρεύμα που το διαρρέει. Επαναλαμβάνει το πείραμα για το δεύτερο δίπολο. Οι τιμές που βρίσκει καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Ποιο δίπολο πιστεύεις ότι παρουσιάζει τη μεγαλύτερη αντίσταση;

Τάση στο άκρα των δίπολων(V)	Δίπολο Α Ένταση ρεύματος	Δίπολο Β Ένταση ρεύματος
20	0,20	0,10
40	0,39	0,18
60	0,61	0,26
100	1,01	0,43

Πραγματοποίησε τη γραφική παράσταση  $V-I$  για τα δύο δίπολα, έλεγξε αν πρόκειται για ωμικές αντιστάσεις και αν είναι (ή για όποια είναι) υπολόγισε την, βρίσκοντας την κλίση της γραφικής παράστασης.



2. Σε ένα κύκλωμα με πηγή 9V και αντίσταση 4,5Ω να βρεθούν:

- i. η ένταση του ρεύματος που το διαρρέει.
- ii. το φορτίο που περνά από μια διατομή του αγωγού του κυκλώματος σε χρόνο 32 s.
- iii. ο αριθμός των ηλεκτρονίων που περνούν από μια διατομή του αγωγού του κυκλώματος σε χρόνο 32 s.

Δίνεται το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο  $1,6 \cdot 10^{-19}C$ .

3. Γνωρίζουμε ότι η ειδική αντίσταση του βολφραμίου, από το οποίο κατασκευάζεται το νήμα του λαμπτήρα πυράκτωσης, αυξάνεται πάρα πολύ με την αύξηση της θερμοκρασίας. Με βάση αυτό το γεγονός, μπορείς να εξηγήσεις γιατί το ρεύμα σε έναν λαμπτήρα πυράκτωσης είναι μεγαλύτερο μόλις ο λαμπτήρας ανάψει απ' ότι είναι λίγο αργότερα;

## 1.6 Μελέτη ηλεκτρικών κυκλωμάτων και εφαρμογή των αρχών διατήρησης – Σύνδεση αντιστάσεων

**Μετά από αυτή την ενότητα θα είσαι σε θέση να:**

1. αναγνωρίζεις τους τρόπους σύνδεσης αντιστάσεων (μέχρι δύο) σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα και να υπολογίζεις την ισοδύναμη ηλεκτρική αντίσταση.
2. διαπιστώνεις την αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου και να την αξιοποιείς για τον υπολογισμό της έντασης του ρεύματος σε σημεία του κυκλώματος.



Για τις δραστηριότητες της παραγράφου αυτής θα χρειαστούν:

Δύο μπαταρίες 4,5V ανοιγμένες, λαμπάκια (4,5V - 0,5A) σε λυχνιολαβή, καλώδια σύνδεσης, κεραμικές αντιστάσεις 2,2Ω ή 4,7Ω, διακόπτες, βολτόμετρο-αμπερόμετρο ή πολύμετρα.



Όταν «καίγονται» κάποια λαμπάκια στο χριστουγεννιάτικο δέντρο, τα υπόλοιπα εξακολουθούν να ανάβουν.

Αντίθετα, αν καεί μία από τις λάμπες στο πανηγύρι, τότε σβήνουν όλες.

Επίσης, μπορείς να έχεις αναμμένη τη λάμπα του γραφείου σου, χωρίς να πρέπει ταυτόχρονα να λειτουργεί ο φούρνος ή το φως του μπάνιου.

Ποιο είναι άραγε το «μυστικό» που κρύβεται στις παραπάνω συνδεσμολογίες και σου δίνει τη δυνατότητα να επιλέξεις τις ηλεκτρικές συσκευές που θέλεις να λειτουργούν;



Εικόνα 1.6.2: Οι λάμπες σε ένα πανηγύρι.



Εικόνα 1.6.1: Στο χριστουγεννιάτικο δέντρο κάποια λαμπάκια δεν λειτουργούν. Αυτό δεν εμποδίζει τα υπόλοιπα να ανάβουν.

### Ας αναρωτηθούμε

1. Με πόσους τρόπους μπορείς να συνδέσεις δύο λαμπτήρες σε ένα κύκλωμα;
2. Τι αλλάζει στη φωτοβολία των λαμπτήρων στη σύνδεση σε σειρά και στην παράλληλη;
3. Με ποιον τρόπο είναι συνδεδεμένοι οι λαμπτήρες στο σπίτι σου;
4. Κάθε φορά που συνδέεις μια αντίσταση σε ένα κύκλωμα, η συνολική του αντίσταση πάντα αυξάνεται;



## Σύνδεση αντιστάσεων

### Πρακτική δραστηριότητα:



Με πόσους τρόπους μπορείς να συνδέσεις δύο λαμπτήρες σε ένα κύκλωμα;



Σύνδεσε τα λαμπάκια με την μπαταρία, όπως φαίνεται στις εικόνες 1.6.3 και 1.6.4.

Σε ποιο από τα δύο κυκλώματα οι λαμπτήρες φωτοβολούν περισσότερο;

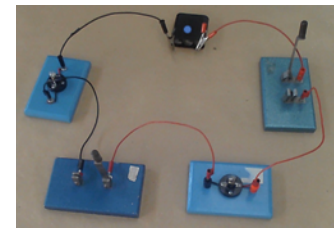
.....

Στα πλαίσια σχεδιάζουμε τις σχηματικές παραστάσεις των δύο κυκλωμάτων.

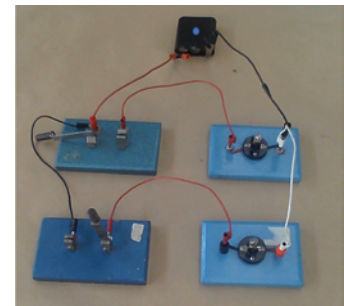
Κύκλωμα εικόνας 1.6.3



Κύκλωμα εικόνας 1.6.4



Εικόνα 1.6.3: 1<sup>ος</sup> τρόπος σύνδεσης.



Εικόνα 1.6.4: 2<sup>ος</sup> τρόπος σύνδεσης.

Άνοιξε σε καθένα από τα κυκλώματα τον έναν από τους δύο διακόπτες.

Τι παρατηρείς;

.....

.....

Με ποιον από τους δύο τρόπους είναι συνδεδεμένες οι λάμπες στο σπίτι σου;

.....

.....

Μπορείς να συνδέσεις τα δύο λαμπάκια με έναν τρίτο τρόπο;

.....



Τα δύο λαμπάκια μπορούν να συνδεθούν με την μπαταρία με ..... διαφορετικούς τρόπους. Τα λαμπάκια φωτοβολούν περισσότερο στο κύκλωμα της εικόνας ..... . Καταλαβαίνω λοιπόν ότι η συνολική αντίσταση του κυκλώματος αυτού είναι .....



## Ισοδύναμη Αντίσταση

Είναι η αντίσταση με την οποία, αν αντικαταστήσουμε όλες τις αντιστάσεις μιας συνδεσμολογίας, θα έχουμε τα ίδια αποτελέσματα.

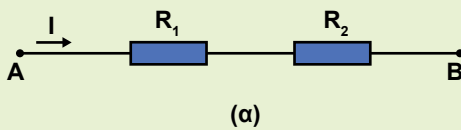
Σύμφωνα με τον νόμο του Ohm έχουμε:

$$I = \frac{V_{AB}}{R} \quad (1.6.1)$$

Όταν οι αντιστάσεις είναι συνδεδεμένες έτσι ώστε να διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα, έχουμε **σύνδεση σε σειρά**.

Όταν οι αντιστάσεις είναι συνδεδεμένες έτσι ώστε να έχουν στα άκρα τους την ίδια διαφορά δυναμικού, έχουμε **παράλληλη σύνδεση**.

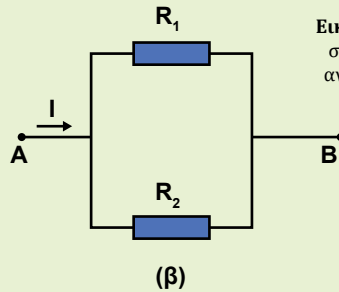
### Σύνδεση μακρόκοσμου και μικρόκοσμου



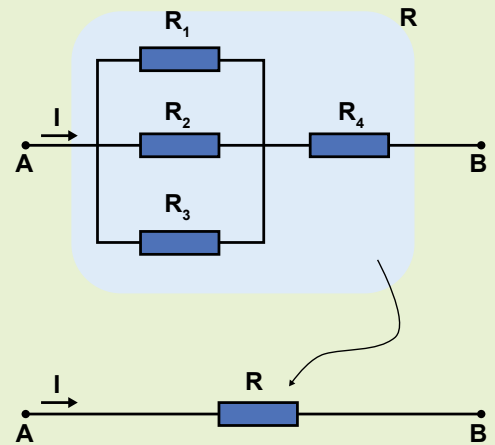
(α)

Εικόνα 1.6.6:

- (α) αντιστάσεις συνδεδεμένες σε σειρά  
(β) αντιστάσεις συνδεδεμένες παράλληλα



(β)



Εικόνα 1.6.5: Η αντίσταση R είναι η ισοδύναμη αντίσταση του συστήματος των αντιστάσεων  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  και  $R_4$  αν για την ίδια διαφορά δυναμικού  $V_{AB}$ , έχουμε την ίδια ένταση ρεύματος I.

Χρησιμοποίησε την προσομοίωση για να διαπιστώσεις πώς κινούνται τα ηλεκτρόνια σε ένα κύκλωμα λαμπτήρων συνδεδεμένων σε σειρά και σε ένα κύκλωμα λαμπτήρων συνδεδεμένων παράλληλα και τι επίπτωση έχει αυτό στη φωτοβολία των λαμπτήρων, άρα και στην ισοδύναμη αντίσταση του κυκλώματος.



### Σύνδεση αντιστάσεων σε σειρά

Πειραματική δραστηριότητα:



Είναι δυνατόν να υπολογίσεις πειραματικά την ισοδύναμη ηλεκτρική αντίσταση ενός κυκλώματος με δύο αντιστάσεις συνδεδεμένες σε σειρά;



Χρησιμοποιώντας μια ανοιγμένη μπαταρία, δύο κεραμικές αντιστάσεις  $2,2\Omega$ , βολτόμετρο, αμπερόμετρο, διακόπτη και καλώδια, πραγματοποίησε το κύκλωμα της εικόνας 1.6.7, συνδέοντας μόνο ένα από τα στοιχεία της μπαταρίας.

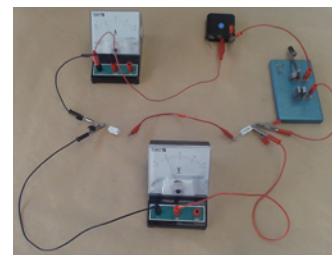
Ζήτησε από τον/την καθηγητή/τρια να ελέγξει το κύκλωμα και μετά κλείσε τον διακόπτη.



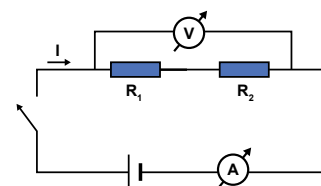
**Καταχώρισε τις τιμές** των ενδείξεων του βολτόμετρου και του αμπερόμετρου στον πίνακα 1.6.1.

**Μετάβαλε την τάση** της πηγής από 1,5 ως 4,5V, συνδέοντας διαδοχικά στο κύκλωμα και άλλα στοιχεία της μπαταρίας, και συμπλήρωσε τον πίνακα 1.6.1.

**Σημείωση:** Αν το εργαστήριο διαθέτει πολύμετρα, τα χρησιμοποιείς αντί για το βολτόμετρο και το αμπερόμετρο, επιλέγοντας τις κατάλληλες κλίμακες.



Αναγραφόμενη τάση πηγής (V)	Ένδειξη Αμπερόμετρου (A)	Ένδειξη Βολτόμετρου (V)	Ισοδύναμη Αντίσταση $R=V/I$ ( $\Omega$ )
1,5			
3			
4,5			
Μέσος Όρος Ισοδύναμης Αντίστασης ( $\Omega$ )			



Εικόνα 1.6.7: Η συνδεσμολογία και η σχηματική της παράσταση.



Πίνακας τιμών.



Συγκρίνοντας την τιμή της ισοδύναμης αντίστασης με τις αναγραφόμενες τιμές πάνω στις κεραμικές αντιστάσεις συμπεραίνω ότι σε ικανοποιητική προσέγγιση:

.....

.....

Ο λόγος για τον οποίο παρουσιάζεται ένα μικρό πειραματικό σφάλμα είναι:

.....



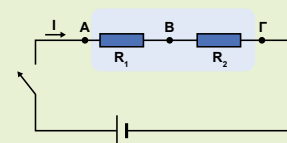
## Σύνδεση Αντιστάσεων σε Σειρά – Θεωρητική προσέγγιση

Γνωρίζουμε ήδη από την ενότητα 1.2 ότι τα ηλεκτρόνια δεν παράγονται, δεν καταστρέφονται και δεν συσσωρεύονται σε κάποιο σημείο του κυκλώματος. Έτσι και από τις δύο αντιστάσεις της εικόνας 1.6.7 διέρχεται το ίδιο ηλεκτρικό ρεύμα έντασης  $I$ .

Επίσης, γνωρίζουμε από την ενότητα 1.3 ότι η ενέργεια που προσφέρει η μπαταρία σε κάθε ηλεκτρόνιο είναι ανάλογη της διαφοράς δυναμικού μεταξύ των σημείων που μετακινείται το ηλεκτρόνιο. Ακόμα, και σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας, η συνολική ενέργεια που προσφέρει η μπαταρία στις αντιστάσεις ισούται με το άθροισμα των ενεργειών που προσφέρει σε καθεμιά από αυτές.

$$\left. \begin{aligned} W_1 &= e \cdot V_{AB} \\ W_2 &= e \cdot V_{BG} \end{aligned} \right\} \Rightarrow W_{ολ} = e \cdot (V_{AB} + V_{BG})$$

$$\text{Συνεπώς } V_{AG} = V_{AB} + V_{BG} \quad (1.6.2)$$



Εικόνα 1.6.8: Αντιστάσεις σε σειρά, των οποίων θέλουμε να βρούμε την ισοδύναμη αντίσταση.

Εφαρμόζοντας τον νόμο του Ohm στην ισοδύναμη αντίσταση  $R$  και στις αντιστάσεις  $R_1$  και  $R_2$  έχουμε:

$$V_{ΑΓ} = IR \quad (1.6.3)$$

$$V_{ΑΒ} = IR_1 \quad (1.6.4)$$

$$V_{ΒΓ} = IR_2 \quad (1.6.5)$$

Προσθέτοντας τις 1.6.4 και 1.6.5 κατά μέλη παίρνουμε:

$$V_{ΑΒ} + V_{ΒΓ} = IR_1 + IR_2 \Rightarrow$$

$$V_{ΑΓ} = I(R_1 + R_2) \Rightarrow$$

$$IR = I(R_1 + R_2) \Rightarrow$$

$$R = R_1 + R_2 \quad (1.6.6)$$

Η σχέση 1.6.6 δηλώνει ότι η **ισοδύναμη αντίσταση δύο αντιστάσεων που συνδέονται σε σειρά είναι ίση με το άθροισμα των αντιστάσεων αυτών και είναι μεγαλύτερη από καθεμιά από αυτές.**

## Παράλληλη σύνδεση αντιστάσεων

**Πειραματική δραστηριότητα:**



Είναι δυνατόν να υπολογίσεις πειραματικά την ισοδύναμη ηλεκτρική αντίσταση ενός κυκλώματος με δύο αντιστάσεις συνδεδεμένες παράλληλα;



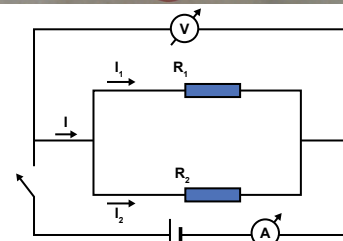
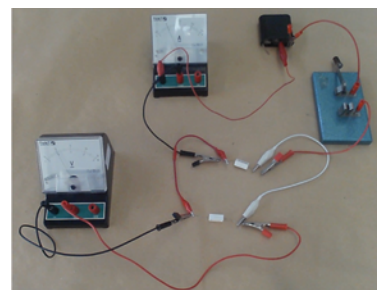
Χρησιμοποιώντας μια ανοιγμένη μπαταρία, δύο κεραμικές αντιστάσεις  $2,2\Omega$ , βολτόμετρο, αμπερόμετρο, διακόπτη και καλώδια, πραγματοποιήσε το κύκλωμα της εικόνας 1.6.9, συνδέοντας μόνο ένα από τα στοιχεία της μπαταρίας.

**Ζήτησε** από τον/την καθηγητή/τρια να ελέγξει το κύκλωμα και μετά κλείσε τον διακόπτη.

**Καταχώρισε** τις τιμές των ενδείξεων του βολτόμετρου και του αμπερόμετρου στον πίνακα 1.6.2.

**Μετάβαλε** την τάση της πηγής από 1,5 ως 4,5V, συνδέοντας διαδοχικά στο κύκλωμα και άλλα στοιχεία των μπαταριών, και συμπλήρωσε τον πίνακα 1.6.2.

**Σημείωση:** Αν το εργαστήριο διαθέτει πολύμετρα, τα χρησιμοποιείς αντί για το βολτόμετρο και το αμπερόμετρο, επιλέγοντας τις κατάλληλες κλίμακες.



**Εικόνα 1.6.9:** Η συνδεσμολογία και η σχηματική της παράσταση.

Πίνακας 1.6.2

Αναγραφόμενη τάση πηγής (V)	Ένδειξη Αμπερόμετρου (A)	Ένδειξη Βολτόμετρου (V)	Ισοδύναμη Αντίσταση $R=V/I$ ( $\Omega$ )	Από τις αναγραφόμενες τιμές $1/R_a$ ( $\Omega$ )
1,5				
3				
4,5				$1/R_1+1/R_2$ ( $\Omega$ )
		Μέσος Όρος Ισοδύναμης Αντίστασης ( $\Omega$ )		
				Ισοδύναμη Αντίσταση $R_a$ ( $\Omega$ )



Με βάση τις πειραματικές τιμές του πίνακα 1.6.2 συμπεραίνω ότι σε ικανοποιητική προσέγγιση:

Ο λόγος για τον οποίο παρουσιάζεται ένα μικρό πειραματικό σφάλμα είναι:



Πίνακας τιμών  
Παράλληλη σύνδεση αντιστάσεων



## Παράλληλη Σύνδεση Αντιστάσεων – Θεωρητική προσέγγιση

Εφόσον τα ηλεκτρόνια δεν παράγονται, δεν καταστρέφονται και δεν συσσωρεύονται σε κάποιο σημείο του κυκλώματος, ισχύει ότι:

$$q = q_1 + q_2 \quad (1.6.7)$$

όπου  $q$  το φορτίο που φτάνει στο A σε χρόνο  $t$  και μετά χωρίζεται σε  $q_1$  και  $q_2$  για να προχωρήσει στις δύο διαθέσιμες διαδρομές. Συνεπώς:

$$\frac{q}{t} = \frac{q_1}{t} + \frac{q_2}{t} \Rightarrow \quad (1.6.8)$$

$$I = I_1 + I_2 \quad (1.6.9)$$

Από τον νόμο του Ohm έχουμε:

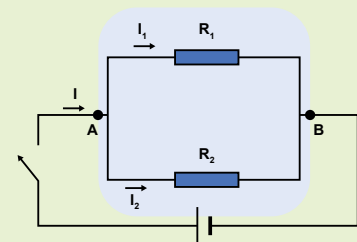
$$\frac{V_{AB}}{R} = \frac{V_{AB}}{R_1} + \frac{V_{AB}}{R_2} \Rightarrow$$

$$\frac{I}{R} = \frac{I}{R_1} + \frac{I}{R_2} \Rightarrow \quad (1.6.10)$$

απ' όπου μπορούμε να βρούμε:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (1.6.11)$$

Οι σχέσεις 1.6.10 και 1.6.11 φανερώσουν ότι η **ισοδύναμη αντίσταση δύο αντιστάσεων που συνδέονται παράλληλα είναι μικρότερη και από τη μικρότερη από τις δύο αντιστάσεις.**



Εικόνα 1.6.10: Αντιστάσεις συνδεδεμένες παράλληλα, των οποίων θέλουμε να βρούμε την ισοδύναμη αντίσταση.



Βίντεο 1.6.1: Τα βασικά σημεία της θεωρίας.



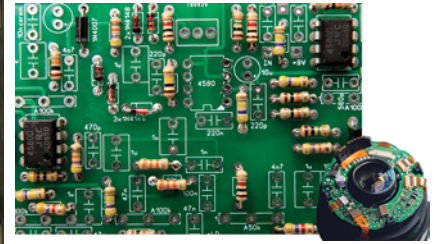
## Διεπιστημονικές – Διαθεματικές Εφαρμογές της Θεωρίας, Γενίκευση, Εμπέδωση, Ερμηνείες με τον μικρόκοσμο

### 1. Σύνθετα ηλεκτρικά κυκλώματα

Τα κυκλώματα που έφτιαξες μέχρι στιγμής θεωρούνται τα απλούστερα που μπορούμε να έχουμε. Αυτά που χρησιμοποιούνται στην πράξη είναι πολύ πιο σύνθετα. Αν φανταστούμε πόσες διαφορετικές ηλεκτρικές συσκευές πρέπει να συνδέονται κατάλληλα στο σπίτι μας ή πόσα διαφορετικά στοιχεία βρίσκονται μέσα σε μια ηλεκτρική συσκευή, λειτουργώντας σε τέλεια αρμονία μεταξύ τους συνειδητοποιούμε πόσο περίπλοκα μπορούν να γίνουν τα πράγματα.



Εικόνα 1.6.11: Ο οικιακός ηλεκτρολογικός πίνακας.



Εικόνα 1.6.12: Το κύκλωμα μιας κάρτας υπολογιστή και μιας ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής.

### 2. Ηλεκτρολογικό σχέδιο

Μπορούμε να περιγράψουμε με λέξεις ένα οποιοδήποτε αντικείμενο, όπως ένα λουλούδι, ένα γλυπτό ή ένα έπιπλο. Όμως μόνο με λόγια δεν θα πετύχουμε να δώσουμε στον συνομιλητή μας μια απολύτως σαφή εικόνα του αντικειμένου.

Ασφαλώς θα γινόμασταν πολύ πιο σαφείς αν του δίναμε μια φωτογραφία. Κι όμως τις περισσότερες φορές δεν είναι δυνατό να ξανακατασκευάσουμε το αντικείμενο ακριβώς όπως είναι από τη φωτογραφία. Αυτό συμβαίνει γιατί η φωτογραφία παρουσιάζει προοπτικά το αντικείμενο και δεν αποδίδει σωστά τις γωνίες και τις διάφορες διαστάσεις του. Επίσης, η φωτογραφία δεν μας δίνει το αντικείμενο στην πλαστική πραγματική του μορφή, γιατί της λείπει η τρίτη διάσταση, η διάσταση του βάθους. Έτσι μόνο μία ιδέα μπορούμε να έχουμε για το βάθος. Απλή απόδειξη της αλήθειας αυτής είναι ότι οι γλύπτες πολύ δύσκολα μπορούν να κατασκευάσουν μία προτομή μόνο από φωτογραφίες.

Έτσι στις τεχνικές κατασκευές χρησιμοποιείται κατά κανόνα το τεχνικό σχέδιο και όχι περιγραφές ή φωτογραφίες. Είναι το καλύτερο μέσο, η απλούστερη και ακριβέστερη γλώσσα που μπορούμε να μεταχειριστούμε για να περιγράψουμε με κάθε λεπτομέρεια και χωρίς αμφιβολίες ένα οποιοδήποτε αντικείμενο.

Σήμερα οι επαγγελματίες χρησιμοποιούν ειδικά σχεδιαστικά πακέτα - λογισμικά, τα CAD που εξειδικεύονται στο είδος σχεδίου που θέλουν

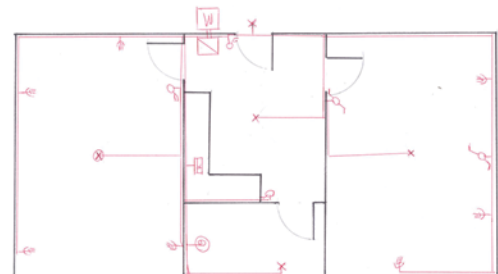
Τα σχέδια που παρουσιάζουν τις ηλεκτάσεις ή τα σχετικά μηχανήματα που **τρολογικά σχέδια.**



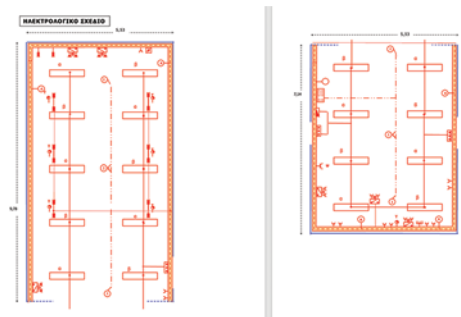
Αρχές ηλεκτρολογικού σχεδίου.



Εικόνα 1.6.13: Η ιδέα του σχεδίου εφαρμόζεται από τον άνθρωπο εδώ και χιλιάδες χρόνια. Στις φωτογραφίες βλέπουμε τοιχογραφίες 2500 χιλιάδων χρόνων στο Τουιφελφοντέιν στη Ναμίμπια που δείχνουν τα είδη των ζώων που υπάρχουν στην περιοχή και πού βρίσκονται οι πηγές νερού.



Εικόνα 1.6.14: Ηλεκτρολογικό σχέδιο εγκατάστασης οικίας.



Εικόνα 1.6.15: Ηλεκτρολογικό σχέδιο Εργαστηρίου Φυσικών Επιστημών.

## 1. Μια βόλτα στο λούνα παρκ

Ποιος δεν έχει μπει για μια βόλτα στα συγκρούμενα αυτοκινητάκια του λούνα παρκ; Αλλά πόσοι από εμάς έχουμε αναρωτηθεί για τον τρόπο με τον οποίο δουλεύουν; Κι όμως η απάντηση είναι απλή. Τα αυτοκινητάκια κινούνται πάνω σε μεταλλικό δάπεδο και μία, επίσης μεταλλική, ράβδος, πίσω από το κάθισμα των επιβατών, συνδέει την πάνω μεριά κάθε αυτοκινήτου με την οροφή. Η οροφή είναι συνήθως μεταλλικό πλέγμα. Μεταξύ δαπέδου και οροφής εφαρμόζεται κατάλληλη διαφορά δυναμικού, συνεπώς τα αυτοκινητάκια, παράλληλα συνδεδεμένα, κινούνται ανεξάρτητα το ένα από το άλλο.

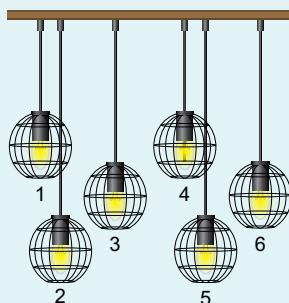


Εικόνα 1.6.16: Τα συγκρούμενα αυτοκινητάκια.

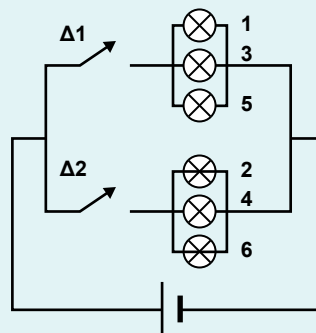
## 2. Το κύκλωμα ενός πολύφωτου

Το φωτιστικό της εικόνας έχει 6 λάμπες. Για οικονομία στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, θέλουμε να μπορούν να ανάβουν οι μισές με έναν διακόπτη και οι άλλες μισές με έναν δεύτερο. Έστω ότι οι λάμπες 1,3,5 φωτοβολούν με το κλείσιμο του διακόπτη Δ1 και οι λάμπες 2,4,6 φωτοβολούν με το κλείσιμο του διακόπτη Δ2.

Επίσης, αν μία από τις λάμπες «καεί», δεν θέλουμε να σβήσει καμία από τις υπόλοιπες. Για να το πετύχουμε αυτό συνδέουμε τις δύο τριάδες παράλληλα μεταξύ τους, αλλά και οι τρεις λάμπες κάθε τριάδας είναι επίσης παράλληλα συνδεδεμένες.



Εικόνα 1.6.17: Πολύφωτο με 6 λάμπες.



Εικόνα 1.6.18: Η σχηματική παράσταση της συνδεσμολογίας.



**Ερωτήσεις**

1. Ποιο είναι το κύριο μειονέκτημα της σύνδεσης λαμπτήρων σε σειρά;

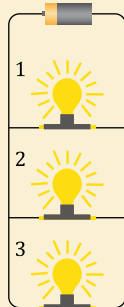


2. Στα σπίτια και τις επιχειρήσεις οι λαμπτήρες και άλλες ηλεκτρικές συσκευές συνδέονται παράλληλα με την κύρια πηγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τι είδους πρόβλημα αποφεύγεται με αυτόν τον τρόπο;



3. Τι από τα παρακάτω θα συμβεί αν ξεβιδώσουμε τη λάμπα 2;

- i. Θα σβήσουν και οι λάμπες 1 και 3.
- ii. Θα σβήσει μόνο η λάμπα 3.
- iii. Θα σβήσει μόνο η λάμπα 1.
- iv. Θα σβήσει μόνο η λάμπα 2



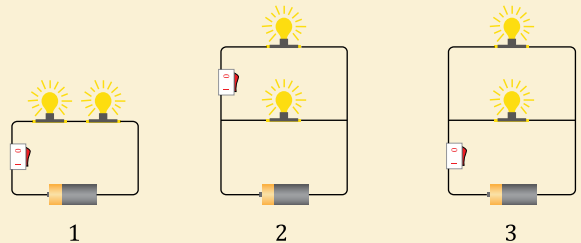
Να εξηγήσεις το σκεπτικό της απάντησής σου.

4. Να συμπληρωθεί το κενό με τη σωστή επιλογή από αυτές που δίνονται στην παρένθεση.

- i. Σε ένα κλειστό κύκλωμα που δύο δίπολα συνδέονται σε σειρά, η τάση στα άκρα της πηγής είναι ..... (μεγαλύτερη, μικρότερη, ίδια) με την τάση στα άκρα κάθε διπόλου, ενώ η ολική αντίσταση του κυκλώματος είναι ..... (μεγαλύτερη, μικρότερη) από την αντίσταση καθενός διπόλου ξεχωριστά.
- ii. Σε ένα κλειστό κύκλωμα που δύο δίπολα συνδέονται παράλληλα, η τάση στα άκρα της πηγής είναι ..... (μεγαλύτερη, μικρότερη,

ίδια) από/με την τάση στα άκρα κάθε διπόλου, ενώ η ολική αντίσταση του κυκλώματος είναι ..... (μεγαλύτερη, μικρότερη) από την αντίσταση καθενός διπόλου ξεχωριστά.

- 5. i. Τι θα συμβεί στους λαμπτήρες αν ανοίξει ο διακόπτης στο κύκλωμα 1;
- ii. Τι θα συμβεί στους λαμπτήρες αν ανοίξει ο διακόπτης στο κύκλωμα 2;
- iii. Τι θα συμβεί στους λαμπτήρες αν ανοίξει ο διακόπτης στο κύκλωμα 3;



6. Τα φανάρια ενός αυτοκινήτου είναι συνδεδεμένα παράλληλα ή σε σειρά; Πώς το καταλαβαίνουμε;

- 7. i. Πώς πρέπει να συνδεθούν δύο αγωγοί ώστε η ισοδύναμη αντίσταση της συνδεσμολογίας να είναι μεγαλύτερη από την αντίσταση καθενός από τους αγωγούς;
- ii. Πώς πρέπει να συνδεθούν δύο αγωγοί ώστε η ισοδύναμη αντίσταση της συνδεσμολογίας να είναι μικρότερη από την αντίσταση καθενός από τους αγωγούς;

## Ασκήσεις

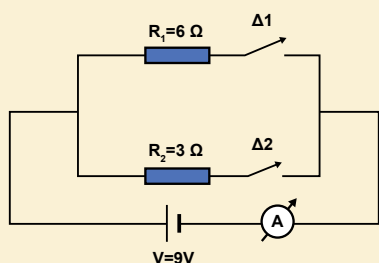
1. Ο Ανδρέας συνδέει δύο αντιστάσεις  $15\Omega$  και  $7,5\Omega$ , πρώτα σε σειρά και μετά παράλληλα. Ποιες από τις παρακάτω τιμές ισοδύναμης αντίστασης έχει σε κάθε περίπτωση;

- $15\Omega$
- $5\Omega$
- $22,5\Omega$
- $17\Omega$
- $15,5\Omega$

2. Διαθέτεις δύο αγωγούς Α και Β, που έχουν αντίσταση  $200\Omega$  και  $300\Omega$ , αντίστοιχα. Η ισοδύναμη αντίστασή τους σε ένα κύκλωμα θα μπορούσε να είναι  $120\Omega$ ;

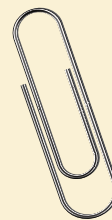
3. Πόση είναι η ένδειξη του αμπερόμετρου του παρακάτω κυκλώματος όταν:

- Είναι κλειστός μόνο ο διακόπτης  $\Delta 1$ ;
- Είναι κλειστός μόνο ο διακόπτης  $\Delta 2$ ;
- Είναι κλειστοί και οι δύο διακόπτες;



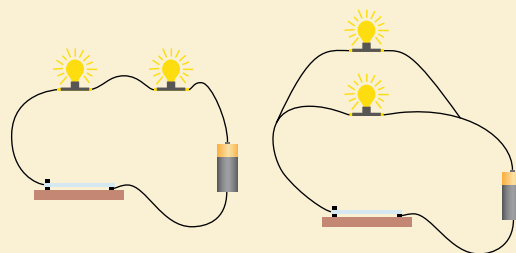
4. Σε ένα κύκλωμα με δύο λαμπτήρες σε σειρά, η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον πρώτο λαμπτήρα είναι  $0,5\text{A}$ . Πόση είναι η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον δεύτερο λαμπτήρα; Αν στα άκρα του κυκλώματος αυτού εφαρμόζεται διαφορά δυναμικού  $4,5\text{V}$  και η διαφορά δυναμικού στα άκρα του πρώτου λαμπτήρα είναι  $2\text{V}$ , πόση είναι η διαφορά δυναμικού στα άκρα του δεύτερου;

5. Σου δίνεται ένας ωμικός αγωγός, όπως ο συνδετήρας της εικόνας. Πώς θα εργαστείς για να προσδιορίσεις την αντίστασή του; Είναι η ίδια όπως και να συνδέσεις τον συνδετήρα;



## Προβλήματα

1. Να γίνει η σχηματική παράσταση των κυκλωμάτων της εικόνας.



Αν όλοι οι λαμπτήρες έχουν την ίδια αντίσταση, η μπαταρία είναι  $3\text{V}$  και διαθέτεις ένα αμπερόμετρο, πώς θα το συνδέσεις προκειμένου να υπολογίσεις την ισοδύναμη αντίσταση;

- στο κύκλωμα των λαμπτήρων σε σειρά.
- στο κύκλωμα των λαμπτήρων παράλληλα.

Αν η ένδειξη του αμπερομέτρου στο κύκλωμα σε σειρά είναι  $0,3\text{A}$ , να υπολογίσεις την ισοδύναμη αντίσταση και στα δύο κυκλώματα.

2. Έχεις δύο δίπολα Α και Β, συνδεδεμένα σε σειρά με μια πηγή  $12\text{V}$ , για τα οποία γνωρίζεις ότι  $R_A = 3R_B$ . Αν η ένταση του ρεύματος που το διαρρέει το κύκλωμα είναι  $I = 1\text{A}$ , να βρεθούν:

- η τιμή κάθε αντίστασης.
- η διαφορά δυναμικού στα άκρα του Α.
- η διαφορά δυναμικού στα άκρα του Β.

## 1.7 Βραχυκύκλωμα – Ασφάλειες



**Μετά από αυτή την ενότητα θα είσαι σε θέση να:**

1. αναγνωρίζεις πότε συμβαίνει βραχυκύκλωμα και τις συνέπειές του.
2. αναγνωρίζεις την αρχή λειτουργίας της ηλεκτρικής ασφάλειας και την αναγκαιότητά της.

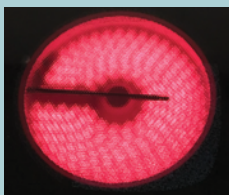


**Για τις δραστηριότητες της παραγράφου αυτής θα χρειαστούν:**

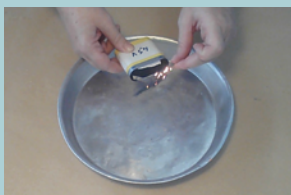
Δύο μπαταρίες 4,5 V ανοιγμένες, λαμπάκια (4,5V - 0,3A) σε λυχνιολαβή, καλώδια σύνδεσης, διακόπτης, αμπερόμετρο ή πολύμετρο, σύρμα κουζίνας, κεραμικό πλακίδιο.



Όταν ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει το μάτι της κουζίνας, αυτό θερμαίνεται και κοκκινίζει (εικόνα 1.7.1). Αν όμως το υλικό ζεσταθεί περισσότερο απ' όσο μπορεί να αντέξει, τότε λιώνει ή αναφλέγεται, όπως το σύρμα κουζίνας με το οποίο συνδέονται οι πόλοι της μπαταρίας στην εικόνα 1.7.2. Αν κατά την ανάφλεξη του ένα σύρμα που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα βρεθεί κοντά σε εύφλεκτα υλικά, τότε είναι δυνατό να προκληθεί πυρκαγιά.



**Εικόνα 1.7.1:** Αναμμένο μάτι κουζίνας.



**Εικόνα 1.7.2:** Ενώνοντας τους δύο πόλους μιας μπαταρίας με σύρμα κουζίνας, το σύρμα αναφλέγεται.



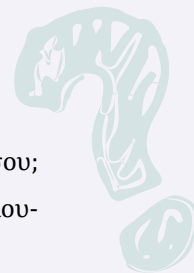
**Εικόνα 1.7.3:** Φωτιά από βραχυκύκλωμα σε εμπορικό κέντρο.



*Βίντεο 1.7.1:* Καύση σύρματος κουζίνας με μπαταρία.

## Ας αναρωτηθούμε

1. Τι είναι το βραχυκύκλωμα;
2. Σε τι χρησιμεύουν οι ηλεκτρικές ασφάλειες; Είναι απαραίτητες;
3. Πρέπει να έχουν όλες οι ηλεκτρικές συσκευές ασφάλειες ή αρκεί να έχει ο πίνακας του σπιτιού σου;
4. Πολλές φορές κάποιος αυτοδίδακτος μάστορας «επισκευάζει» μια καμένη ασφάλεια με λίγο αλουμινόχαρτο ή ένα κέρμα. Πόσο ασφαλής και αποτελεσματική είναι αυτή η μέθοδος;



## Το Βραχυκύκλωμα

### Πρακτική δραστηριότητα:



Τι θα συμβεί αν σε ένα κύκλωμα με λαμπάκια παρακάμψεις ένα από τα λαμπάκια με καλώδιο;

.....

.....

.....

.....



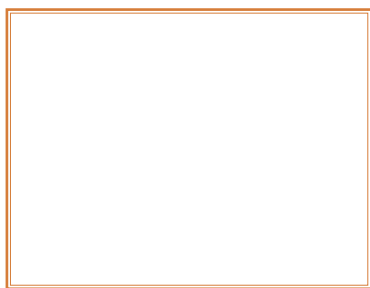
Σύνδεσε τα λαμπάκια με την μπαταρία, όπως στις εικόνες 1.7.4 και 1.7.5.

Τι συμβαίνει με τη φωτοβολία των λαμπτήρων;

.....

Στα πλαίσια σχεδίασε τις σχηματικές παραστάσεις των δύο κυκλωμάτων.

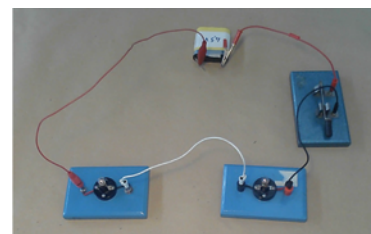
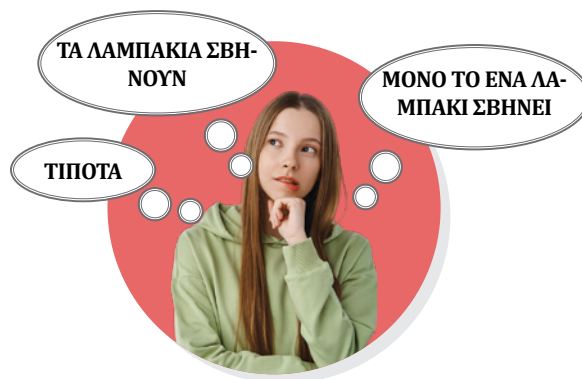
Κύκλωμα εικόνας 1.7.4



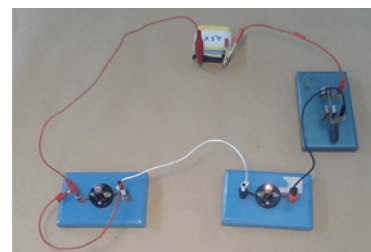
Κύκλωμα εικόνας 1.7.5



Το λαμπάκι που παρακάμφθηκε με καλώδιο ....., ενώ το άλλο φωτοβολεί ....., . Καταλαβαίνω λοιπόν ότι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος στο κύκλωμα ..... γιατί η ισοδύναμη αντίσταση του κυκλώματος αυτού είναι .....



Εικόνα 1.7.4: Δύο λαμπάκια συνδεδεμένα σε σειρά.



Εικόνα 1.7.5: Παρεμβολή καλωδίου αμελητέας αντίστασης γύρω από το ένα λαμπάκι.



## Βραχυκύκλωμα

Αν για οποιονδήποτε λόγο δημιουργηθεί σε ένα κύκλωμα μια διαδρομή με πολύ μικρή αντίσταση, τότε η ένταση του ρεύματος γίνεται μεγάλη και λέμε ότι έχουμε βραχυκύκλωμα.

Κατά το βραχυκύκλωμα είναι δυνατόν η θερμοκρασία των αγωγών να αυξηθεί πολύ γιατί η συνολική αντίσταση μικραίνει και έτσι διαρρέονται από μεγάλης έντασης ηλεκτρικό ρεύμα. Αν αυτό το υψηλής έντασης ηλεκτρικό ρεύμα περάσει από μια συσκευή συνδεδεμένη στο κύκλωμα, το πιθανότερο είναι να την καταστρέψει.

## Η ηλεκτρική ασφάλεια

### Πειραματική δραστηριότητα:



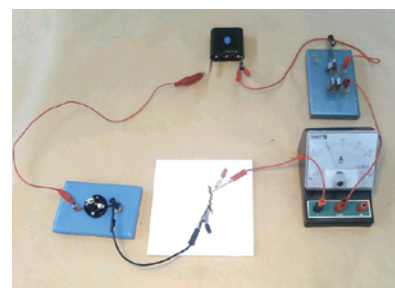
**Μπορεί λίγο σύρμα κουζίνας να προστατέψει ένα λαμπάκι από το να «καεί» εξαιτίας μεγάλης έντασης ρεύματος;**



Χρησιμοποιώντας δύο ανοιγμένες μπαταρίες, ένα λαμπάκι, σύρμα κουζίνας, κεραμικό πλακίδιο, αμπερόμετρο, διακόπτη και καλώδια, πραγματοποιήσε το κύκλωμα της εικόνας 1.7.6, συνδέοντας μόνο ένα από τα στοιχεία της μπαταρίας και παρεμβάλλοντας μόνο μία ίνα από το σύρμα κουζίνας (η ίνα του σύρματος έχει υπερτονιστεί στην εικόνα για να διακρίνεται). Ζήτησε από τον/την καθηγητή/τρια να ελέγξει το κύκλωμα και μετά κλείσε τον διακόπτη.

**Καταχώρισε** την τιμή της ένδειξης του αμπερόμετρου στον πίνακα 1.7.1.

Μεταβάλλοντας την τάση της πηγής από 1,5 ως 9V, συνδέοντας διαδοχικά στο κύκλωμα και άλλα στοιχεία των δύο μπαταριών, συμπλήρωσε τον πίνακα 1.7.1.



Εικόνα 1.7.6: Πείραμα προσομοίωσης ηλεκτρικής ασφάλειας.

Πίνακας 1.7.1	
Αναγραφόμενη τάση πηγής (V)	Ένδειξη Αμπερόμετρου (A)
1.5	
3	
4.5	
6	
7.5	
9	

**Σημείωση:** Αν το εργαστήριο διαθέτει πολύμετρο, χρησιμοποίησέ το αντί για το αμπερόμετρο, επιλέγοντας την κατάλληλη κλίμακα.



Το σύρμα κόβεται όταν η ένταση του ρεύματος υπερβεί

.....



Βίντεο 1.7.2: Ηλεκτρική ασφάλεια - το πείραμα



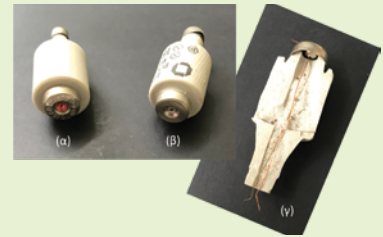


## Ασφάλειες

Οι ασφάλειες χρησιμοποιούνται για να μας προστατεύουν αν για οποιονδήποτε λόγο προκληθεί βραχυκύκλωμα. Οι πιο απλές είναι οι τηκόμενες ασφάλειες που αποτελούνται από ένα σύρμα το οποίο περιβάλλεται από μονωτικό υλικό και δεν καίγεται (πορσελάνη ή γυαλί). Όταν από το σύρμα της ασφάλειας περάσει περισσότερο ρεύμα από μια δεδομένη τιμή, η οποία αναγράφεται πάνω στην ασφάλεια, το σύρμα λιώνει και το κύκλωμα ανοίγει. Λέμε ότι η ασφάλεια «καίγεται».

Οι ασφάλειες συνδέονται σε σειρά στη γραμμή τροφοδοσίας του κυκλώματος, ώστε όλο το ρεύμα της γραμμής να περνά μέσα από την ασφάλεια.

Όταν μια ασφάλεια καεί, θα πρέπει να αντικατασταθεί με μία όμοια, αφού πρώτα βρεθεί και επιδιορθωθεί το πρόβλημα που προκάλεσε το κάψιμό της.



**Εικόνα 1.7.7:** (α) Τηκόμενη ασφάλεια, (β) Καμένη τηκόμενη ασφάλεια. Αναγνωρίζουμε ότι είναι καμένη από το χρώμα που λείπει στη βάση της, (γ) Τομή ασφάλειας και σύρμα μέσα σε άμμο.



## Διεπιστημονικές – Διαθεματικές Εφαρμογές της Θεωρίας, Γενίκευση, Εμπέδωση, Ερμηνείες με τον μικρόκοσμο

### 1. Βιολογικά αποτελέσματα ηλεκτρικού ρεύματος – ηλεκτροπληξία

Πολλοί άνθρωποι χάνουν κάθε χρόνο τη ζωή τους από ηλεκτροπληξία.

Οι βλαβερές συνέπειες της ηλεκτροπληξίας είναι αποτέλεσμα του ηλεκτρικού ρεύματος που διέρχεται από το ανθρώπινο σώμα. Μπορεί να προκαλέσει υπερθέρμανση των ιστών του σώματος και διαταραχή της φυσιολογικής λειτουργίας του νευρικού συστήματος, για το οποίο γνωρίζουμε από την ενότητα 1.4 ότι λειτουργεί με ηλεκτρικά σήματα. Είναι δυνατόν να διαταράξει τα περιοδικά ηλεκτρικά σήματα, που διατηρούν τους παλμούς της καρδιάς σε φυσιολογικά επίπεδα και να προκληθεί ανακοπή ή το νευρικό κέντρο που ρυθμίζει την αναπνοή.

Από την άλλη πλευρά, στα θύματα καρδιακής προσβολής, ένα ηλεκτροσόκ μπορεί να αποκαταστήσει την καρδιακή λειτουργία. Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για τον σκοπό αυτό ονομάζονται **απινιδωτές**.

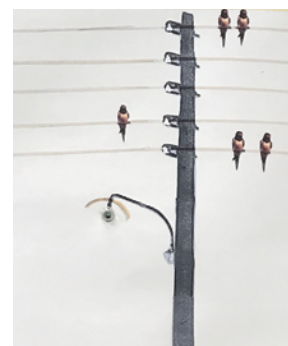
Στον πίνακα 1.7.2 φαίνονται συγκεντρωτικά οι επιπτώσεις του ηλεκτρικού ρεύματος στον άνθρωπο.

Πίνακας 1.7.2

Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος (A)	Επίπτωση
0,001	Γίνεται αισθητό
0,005	Είναι επώδυνο
0,010	Μυϊκοί σπασμοί
0,015	Απώλεια μυϊκού ελέγχου
0,070	Διαταραχή της καρδιακής λειτουργίας – πιθανός θάνατος αν διαρκέσει πάνω από 1s.

Από τον νόμο του Ohm γνωρίζουμε ότι η ένταση του ρεύματος είναι ανάλογη της διαφοράς δυναμικού και αντίστροφα ανάλογη με την αντίσταση του σώματος. Όσον αφορά το ανθρώπινο σώμα, η αντίστασή του κυμαίνεται από 100Ω αν το δέρμα είναι βρεγμένο με αλατόνερο και ως 500.000Ω αν είναι ξηρό. Μπορούμε λοιπόν να εκτιμήσουμε τον κίνδυνο που διατρέχουμε ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν. Αν υποστούμε ηλεκτροπληξία με δέρμα βρεγμένο, θα περάσει από το σώμα μας ηλεκτρικό ρεύμα με ένταση 5.000 φορές μεγαλύτερη, εάν ήταν στεγνό. Να γιατί δεν πρέπει να πιάνουμε ηλεκτρικές συσκευές με βρεγμένα χέρια.

Συχνά βλέπουμε πουλιά να στέκονται ανέμελα πάνω σε καλώδια ηλεκτρικού ρεύματος. Όσο ακουμπούν σε ένα μόνο καλώδιο δεν παθαίνουν ηλεκτροπληξία, γιατί η διαφορά δυναμικού είναι μηδέν. Αν όμως ένα του φτερό αγγίξει κάποιο άλλο καλώδιο, το γεγονός αυτό θα αποβεί μοιραίο.



Εικόνα 1.7.8: Πουλιά σε καλώδιο ηλεκτρικού ρεύματος.

## 2. Τύποι ηλεκτρικών ασφαλειών

Σε όλες τις ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές χρησιμοποιούνται ασφάλειες για να τις προστατέψουν από ρεύμα μεγάλης έντασης. Μπορεί να είναι τηκόμενες ασφάλειες σε περίβλημα από γυαλί ή αυτόματες. Οι αυτόματες ασφάλειες είναι ουσιαστικά διακόπτες κυκλώματος, οι οποίοι ανοίγουν όταν το ρεύμα υπερβεί μια δεδομένη τιμή. Στα σύγχρονα κτίρια, οι τηκόμενες ασφάλειες έχουν σε μεγάλο βαθμό αντικατασταθεί από αυτόματες αλλά και οι εταιρείες ηλεκτρισμού τοποθετούν αυτόματες ασφάλειες σε όλο το μήκος των γραμμών μεταφοράς.



Εικόνα 1.7.10: Αυτόματη ασφάλεια.



Εικόνα 1.7.9: (α) Ασφάλεια ηλεκτρονικής συσκευής. (β) Ασφάλεια αυτοκινήτου.

Αντιστατικά, αγωγή και μονωτικά δάπεδα.



Εννοιολογικός Χάρτης



Ενότητας 1.7

## Ερωτήσεις

1. Ποια προβλήματα μπορεί να προκαλέσει ένα βραχυκύκλωμα και με ποιον τρόπο μπορούν να αποφευχθούν τα προβλήματα αυτά;
2. Γιατί οι ασφάλειες συνδέονται σε σειρά με το κύκλωμα που προστατεύουν;
3. Να συμπληρωθούν τα κενά με τη σωστή επιλογή από αυτές που δίνονται στην παρένθεση.

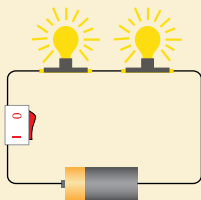
Αν δημιουργηθεί σε ένα κύκλωμα μια διαδρομή με πολύ ..... (μικρή, μεγάλη) αντίσταση, τότε η ένταση του ρεύματος γίνεται ..... (μικρή, πολύ μικρή, μεγάλη) και λέμε ότι έχουμε βραχυκύκλωμα.

Σε περίπτωση βραχυκυκλώματος μπορεί να καταστραφεί η συσκευή που είναι συνδεδεμένη στο κύκλωμα και να προκληθεί ..... (βραχυκύκλωμα, πυρκαγιά). Οι ..... (διακόπτες, μεταβλητές αντιστάσεις, ασφάλειες) χρησιμοποιούνται για την προστασία των κυκλωμάτων από βραχυκύκλωμα και συνδέονται πάντοτε ..... (σε σειρά, παράλληλα).

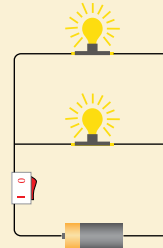
4. Έλεγξε τις γνώσεις σου:



5. Πώς θα μεταβληθεί η φωτοβολία κάθε λαμπτήρα της διπλανής εικόνας αν βραχυκυκλώσουμε τα άκρα ενός από αυτούς με σύρμα αμελητέας αντίστασης; Πώς μπορείς να εξηγήσεις το φαινόμενο αυτό;



6. Πώς θα μεταβληθεί η φωτοβολία κάθε λαμπτήρα της διπλανής εικόνας αν βραχυκυκλώσουμε τα άκρα ενός από αυτούς με σύρμα αμελητέας αντίστασης; Πώς μπορείς να εξηγήσεις το φαινόμενο αυτό;



7. i. Πώς επηρεάζει η υγρασία του δέρματος την αντίσταση του ανθρώπινου σώματος και τι συνέπειες μπορεί να έχει αυτό;
  - ii. Πώς μεταβάλλεται η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το ανθρώπινο σώμα, για δεδομένη διαφορά δυναμικού, όταν είναι ιδρωμένο;
  - iii. Γιατί δεν πρέπει ΠΟΤΕ να χρησιμοποιείς ηλεκτρικές συσκευές όταν κάνεις μπάνιο;

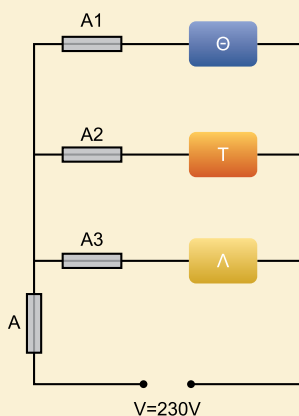
8. Οι επιβλαβείς συνέπειες της ηλεκτροπληξίας οφείλονται στην ένταση του ρεύματος που διαρρέει το σώμα μας. Γιατί όμως στις προειδοποιητικές πινακίδες βλέπουμε να αναγράφεται «κίνδυνος - υψηλή τάση» και όχι «κίνδυνος - υψηλό ρεύμα»;



9. Γιατί όταν καθορίζεται η απόσταση των παράλληλων καλωδίων σε γραμμή μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος λαμβάνεται υπόψη το άνοιγμα των φτερών των πουλιών;

## Ασκήσεις

1. Στη σχηματική παράσταση του κυκλώματος της διπλανής εικόνας έχεις ένα θερμοσίφωνο (Θ) που, όταν λειτουργεί, διαρρέεται από ρεύμα έντασης 14A, μία τοστιέρα (Τ) που, όταν λειτουργεί, διαρρέεται από ρεύμα έντασης 9A και ένα σύστημα 40 λαμπτήρων led συνδεδεμένων παράλληλα, που όταν λειτουργούν ταυτόχρονα, ρεύμα 2,5A εισέρχεται στο επιμέρους κύκλωμά τους.



Αν στο εμπόριο υπάρχουν ασφάλειες 1A, 2A, 3A, 4A, 6A, 10A, 16A, 20A, 25A, 32A, 40A, 50A, 63A, 80A, 100A και 125A, τι τιμές θα επιλέξεις για τις ασφάλειες A1, A2 και A3, καθώς και για τη γενική ασφάλεια A ώστε να μπορούν να λειτουργήσουν όλες οι συσκευές ταυτόχρονα;

Έλεγξε τις απαντήσεις σου:



2. Αν η γενική ασφάλεια της προηγούμενης άσκησης είναι 20A, να βρεθούν δύο συνδυασμοί ηλεκτρικών συσκευών σε λειτουργία, για τους οποίους αυτή η ασφάλεια δεν καίγεται.
3. Αν ρεύμα 0,2A μπει από τη μία παλάμη σου και βγει από την άλλη θα πάθεις ηλεκτροπληξία. Αν όμως το ίδιο ρεύμα μπει από τη μία παλάμη σου και βγει από τον αγκώνα του ίδιου χεριού, θα επιζήσεις ακόμα κι αν καεί η σάρκα σου. Γιατί συμβαίνει αυτό;

## Προβλήματα

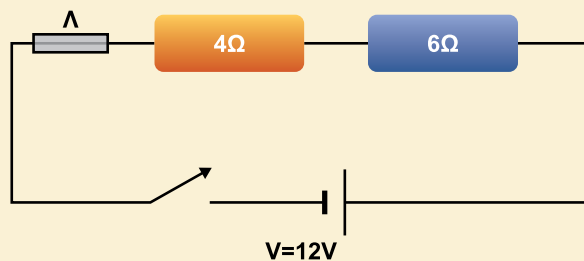
1. Πόση είναι η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το σώμα σου, πιάνοντας με τα χέρια τους πόλους μιας μπαταρίας 12 V, σε καθεμιά από τις παρακάτω περιπτώσεις:

- Αν η ηλεκτρική αντίσταση του σώματός σου είναι 100.000Ω.
- Αν το δέρμα σου είναι υγρό και η ηλεκτρική σου αντίσταση είναι μόνο 1.000Ω.
- Αν φοράς πλαστικές παντόφλες, οπότε η ηλεκτρική σου αντίσταση γίνεται 1.000.000Ω.

Να σχολιαστεί το κείμενο «Παθαίνεις ηλεκτροπληξία όταν ηλεκτρικό ρεύμα περάσει μέσα από το σώμα σου. Για να γίνει κάτι τέτοιο θα πρέπει να εφαρμοστεί διαφορά δυναμικού. Επομένως το αρχικό αίτιο είναι η διαφορά δυναμικού αλλά αυτό που προκαλεί τη βλάβη είναι το ηλεκτρικό ρεύμα.»

2. Στο κύκλωμα του σχήματος η ασφάλεια Λ είναι 2A.

- Καίγεται η ασφάλεια όταν κλείσει ο διακόπτης;
- Αν η αντίσταση 6Ω βραχυκυκλωθεί με καλώδιο αμελητέας αντίστασης και κλείσει ο διακόπτης, τι θα συμβεί με την ασφάλεια;



## 1.8

## Ηλεκτρική ενέργεια και ισχύς



Για τις δραστηριότητες της παραγράφου αυτής θα χρειαστούν:

Δύο μπαταρίες 4,5V

λαμπάκι (4,5V - 0,5A) σε λυχνιολαβή

καλώδια σύνδεσης

βολτόμετρο-αμπερόμετρο ή πολύμετρα

θερμιδόμετρο (ή τρία ποτήρια από φελιζόλ, λεπτό σύρμα περιέλιξης, οδοντογλυφίδα, κόλλα στικ, χαρτοταινία, βερνίκι νυχιών)

θερμόμετρο, μικρός κινητήρας.

### Μετά από αυτή την ενότητα θα είσαι σε θέση να:

1. συσχετίζεις την τάση μεταξύ δύο σημείων A και B ενός κυκλώματος με τη μεταβιβαζόμενη ενέργεια μέσω του ηλεκτρικού ρεύματος.
2. αναγνωρίζεις και να ερμηνεύεις τα χαρακτηριστικά λειτουργίας μιας συσκευής (χαρακτηριστικά κανονικής λειτουργίας).
3. αναγνωρίζεις την αρχή διατήρησης της ενέργειας σε ένα κύκλωμα και να την αξιοποιείς για επίλυση προβλημάτων.
4. υπολογίζεις την ενέργεια και την ισχύ σε στοιχεία ηλεκτρικού κυκλώματος.
5. διατυπώνεις τον νόμο του Joule και να ερμηνεύεις σχετικά φαινόμενα.



Κατά το βράσιμο του νερού στην κουζίνα του σπιτιού, ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική.

Σε μια ηλεκτρική θερμάστρα, ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική και φωτεινή.

Για να αναδέψεις υλικά με το μίξερ, ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική. Όμως ο κινητήρας (μοτέρ) του μίξερ θερμαίνεται, ενώ αν μέσα στον κάδο βάλεις βούτυρο, μετά από λίγη ώρα χτυπήματος, θα έχει λιώσει.

Από την άλλη πλευρά, ο φούρνος της κουζίνας διαθέτει διακόπτη για να ρυθμίζεις τη θερμοκρασία στην οποία επιθυμείς να ψήσεις το φαγητό.



Εικόνα 1.8.1: Βράσιμο του νερού.



Εικόνα 1.8.2: Ανάδευση με μίξερ.



Εικόνα 1.8.3: Ηλεκτρική θερμάστρα.

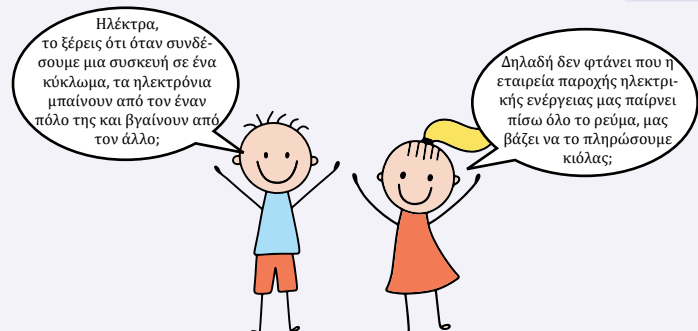


Εικόνα 1.8.4: Φούρνος.

### Ας αναρωτηθούμε

Τι θα πρέπει να εξηγήσεις στον Θαλή και στην Ηλέκτρα, δείχνοντάς τους ταυτόχρονα και τις εικόνες 1.8.1 ως 1.8.4;

Εικόνα 1.8.5: Συζήτηση μεταξύ του Θαλή και της Ηλέκτρας, δύο μαθητών της Γ' Γυμνασίου.



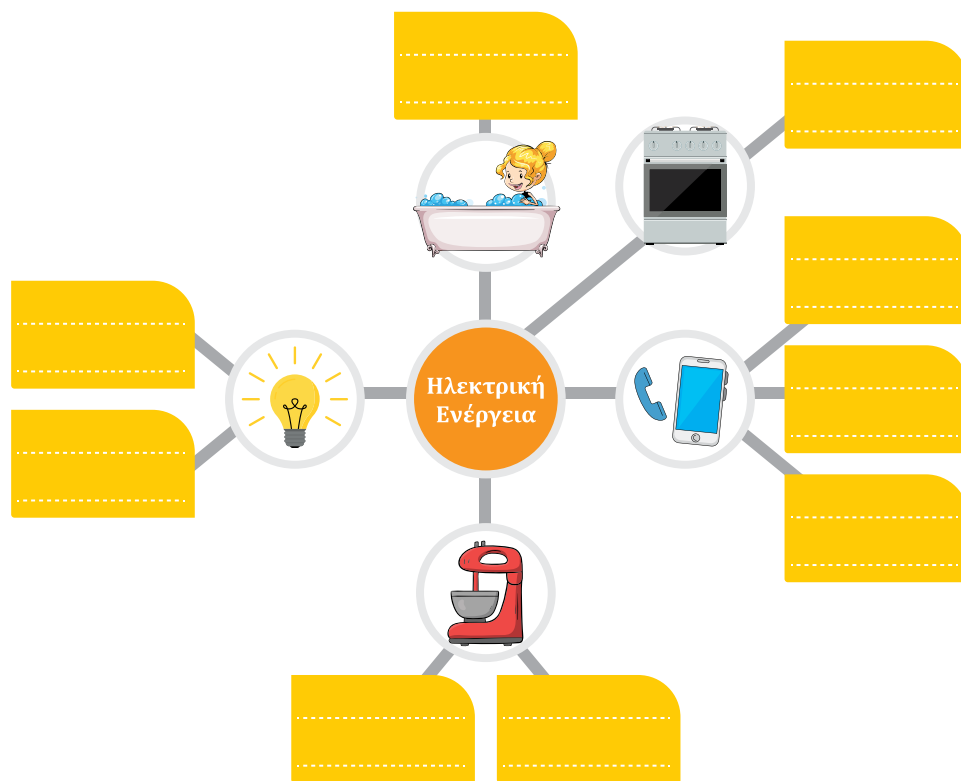
## Το φαινόμενο Joule (Τζουλ)

Ποια είναι η κοινή μορφή ενέργειας πίσω από όλα τα φαινόμενα;

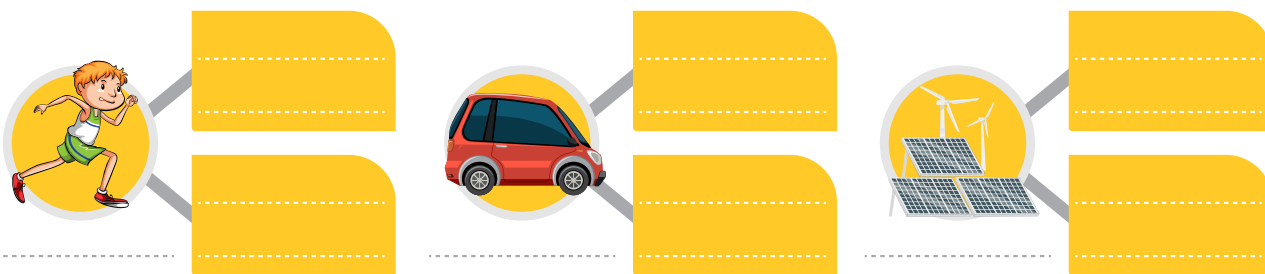


Βίντεο 1.8.1: Οι μεταμορφώσεις της ενέργειας.

Συμπλήρωσε τα κενά στις φούσκες με τις μεταμορφώσεις της ενέργειας.



Εικόνα 1.8.6: Εννοιολογικός χάρτης: Μεταμορφώσεις ηλεκτρικής ενέργειας στην οικιακή κατανάλωση.



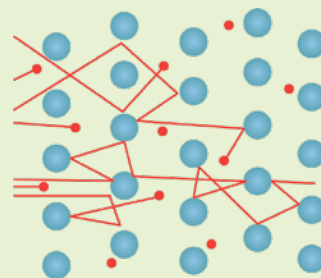
Εικόνα 1.8.7: και μερικές άλλες περιπτώσεις.

Η κοινή μορφή ενέργειας πίσω από τα φαινόμενα των εικόνων 1.8.6 και 1.8.7 είναι η .....



## Φαινόμενο Joule

Καθώς τα ελεύθερα ηλεκτρόνια των αγωγών αλληλεπιδρούν με τα θετικά ιόντα του μετάλλου, χάνουν μέρος της κινητικής τους ενέργειας (η πηγή βέβαια το αναπληρώνει). Την ενέργεια αυτή την παίρνουν τα ιόντα και η άτακτη κίνησή τους γίνεται εντονότερη. Δηλαδή ο αγωγός αποκτά μεγαλύτερη θερμική ενέργεια. Μακροσκοπικά αυτό το αντιλαμβανόμαστε ως αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού. Όταν η θερμοκρασία του αγωγού γίνει μεγαλύτερη από του περιβάλλοντος, θερμότητα μεταφέρεται από την αντίσταση στο περιβάλλον. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **φαινόμενο Joule**.



Εικόνα 1.8.8: Η κίνηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων μέσα στον αγωγό.

## Ενέργεια και ισχύς σε ηλεκτρικά κυκλώματα

### Πρακτική δραστηριότητα:



Πού οφείλεται ο διαφορετικός ρυθμός παραγωγής θερμότητας των διαφορετικών ηλεκτρικών συσκευών;



Ψάξε στο σπίτι σου να βρεις τρεις συνδεδεμένες λάμπες, σαν της εικόνας 1.8.9 και πλησίασε σε αυτές το χέρι σου, χωρίς όμως να τις ακουμπήσεις.



Εικόνα 1.8.9:  
1. Συμπαγής λάμπα φθορισμού  
2. Λάμπα πυράκτωσης  
3. Λάμπα LED



Παρατηρώ ότι η ..... εκπέμπει θερμότητα με μικρότερο ρυθμό και η ..... με μεγαλύτερο. Οφείλεται μάλιστα .....

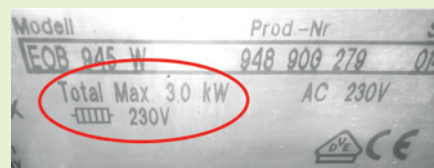
Αντίστοιχα, ο ρυθμός κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερος για τη ..... και μικρότερος για την ..... και μπορώ να τον πληροφορηθώ από τα χαρακτηριστικά λειτουργίας της συσκευής.



## Χαρακτηριστικά λειτουργίας ηλεκτρικής συσκευής

Μια συσκευή, για να λειτουργεί σωστά, συνδέεται σε διαφορά δυναμικού (τάση) για την οποία έχει κατασκευαστεί. Συνδεδεμένη μάλιστα σε αυτήν την τάση έχει συγκεκριμένο ρυθμό κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή συγκεκριμένη ισχύ.

Τα δύο αυτά μεγέθη, η διαφορά δυναμικού που πρέπει να έχει στα άκρα της η συσκευή και η ηλεκτρική ισχύς που καταναλώνει, όταν συνδεθεί σε αυτήν τη διαφορά δυναμικού, είναι τα χαρακτηριστικά λειτουργίας της και αναγράφονται πάντα πάνω της.



Εικόνα 1.8.10: Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας ενός οικιακού φούρνου.

Ο ρυθμός παραγωγής θερμότητας όμως δεν ταυτίζεται με τον ρυθμό κατανάλωσης ενέργειας γιατί οι μεταμορφώσεις ενέργειας είναι διαφορετικές από συσκευή σε συσκευή.

## Ενέργεια και Ισχύς σε ηλεκτρικά κυκλώματα

Γνωρίζουμε ότι η ενέργεια  $W$  που προσφέρει η πηγή σε φορτίο  $q$  για να το μετακινήσει ανάμεσα σε δύο σημεία με διαφορά δυναμικού  $V$  είναι

$$W = V \cdot q \quad (1.8.1)$$

Από τη σχέση ορισμού της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος έχουμε

$$I = \frac{q}{t} \Rightarrow q = I \cdot t \quad (1.8.2)$$

όπου  $t$  ο χρόνος που απαιτείται για να περάσει φορτίο  $q$  από μια διατομή του αγωγού.

Αντικαθιστώντας το φορτίο από τη σχέση 1.8.2 στη σχέση 1.8.1 παίρνουμε

$$W = V \cdot I \cdot t \quad \text{Ηλεκτρική Ενέργεια (1.8.3)}$$

Αν η ενέργεια αυτή αποδοθεί από την πηγή σε μια αντίσταση, μεταμορφώνεται σε θερμότητα που εκλύεται στον περιβάλλοντα χώρο. Συνδυάζοντας τη σχέση 1.8.3 με τον νόμο του Ohm  $V = I \cdot R$  έχουμε, για τη θερμότητα  $Q$  που εκλύεται:

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

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t \quad \text{Νόμος Joule (1.8.4)}$$

Γνωρίζουμε επίσης, από τη Β' Γυμνασίου, ότι ο ρυθμός μετατροπής ή μεταφοράς ενέργειας ονομάζεται ισχύς και ισούται με

$$P = \frac{E}{t} \quad (1.8.5)$$

Συνδυάζοντας τη σχέση 1.8.5 με την 1.8.3 βρίσκουμε:

$$P = \frac{E}{t} = \frac{V \cdot I \cdot t}{t} = V \cdot I \quad \text{ή}$$

$$P = V \cdot I \quad \text{Ηλεκτρική Ισχύς (1.8.6)}$$

Όσο για την ηλεκτρική ισχύ που αφορά στη μεταμόρφωση ηλεκτρικής ενέργειας σε θερμότητα πάνω σε μια αντίσταση, συνδυάζουμε τη σχέση 1.8.5 με την 1.8.4 και βρίσκουμε

$$P = \frac{E}{t} = I^2 \cdot R \quad (1.8.7)$$

## Απόδοση ηλεκτρικής συσκευής

Σκοπός κάθε ηλεκτρικής συσκευής είναι η μεταμόρφωση της ηλεκτρικής ενέργειας σε μια άλλη επιθυμητή μορφή. Για παράδειγμα, μια λάμπα επιθυμούμε να μας δίνει ορατό φως και ένα μίξερ μηχανική ενέργεια. Όμως σε καμία περίπτωση δεν μπορούμε να αποφύγουμε την παραγωγή θερμότητας. Το πόσο αποδοτική είναι μια ηλεκτρική συσκευή καθορίζεται από το ποσοστό της ενέργειας που της προφέρεται και το οποίο το μετατρέπει στην επιθυμητή μορφή.

Ορίζεται ως συντελεστής απόδοσης το πηλίκο της ωφέλιμης ισχύος (ρυθμός παραγωγής επιθυμητής μορφής ενέργειας) προς την προσφερόμενη ισχύ (ή καταναλισκόμενη)

$$n = \frac{P_{\omega\phi}}{P_{\kappa\alpha\tau}} \quad (1.8.8)$$



Πληροφορίες για το έργο του Joule.

## Η αρχή διατήρησης της ενέργειας σε ηλεκτρικό κύκλωμα

Πειραματική δραστηριότητα:



Πόση ενέργεια καταναλώνει ένας λαμπτήρας σε κύκλωμα; Η αρχή διατήρησης της ενέργειας ισχύει; Τι πείραμα μπορείς να σχεδιάσεις για να απαντήσεις, αν διαθέτεις αμπερόμετρο, βολτόμετρο, λαμπάκι, χρονόμετρο, διακόπτη και μπαταρία;

.....

.....

.....

.....

.....

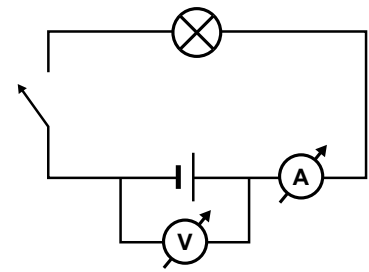


**Πραγματοποίησε** το κύκλωμα της εικόνας 1.8.11, χρησιμοποιώντας μια ανοιγμένη μπαταρία, λαμπάκι, αμπερόμετρο, βολτόμετρο, διακόπτη και καλώδια μηδενικής αντίστασης. Σύνδεσε μόνο ένα από τα στοιχεία της μπαταρίας. Ζήτησε από τον/την καθηγητή/τρια να ελέγξει το κύκλωμα και μετά κλείσε τον διακόπτη.

**Καταχώρισε τις τιμές** των ενδείξεων του βολτόμετρου και του αμπερόμετρου στον πίνακα 1.8.1.

**Μετάβαλε την τάση** της πηγής από 1,5 ως 4,5V, συνδέοντας διαδοχικά στο κύκλωμα και άλλα στοιχεία των μπαταριών, και συμπλήρωσε τον πίνακα 1.8.1.

**Σημείωση:** Αν το εργαστήριο διαθέτει πολύμετρα, χρησιμοποίησέ τα αντί για το βολτόμετρο και το αμπερόμετρο, επιλέγοντας τις κατάλληλες κλίμακες.



Εικόνα 1.8.11: Η σχηματική παράσταση του κυκλώματος.

Πίνακας 1.8.1

Αναγραφόμενη τάση πηγής (V)	Ένδειξη Αμπερόμετρου (A)	Ένδειξη Βολτόμετρου (V)	Ρυθμός προσφοράς ενέργειας από την πηγή $P = V \cdot I$ (W)	Αντίσταση $R = V/I$ ( $\Omega$ )	Ρυθμός κατανάλωσης ενέργειας από την αντίσταση $P = I^2 \cdot R$ (W)
1,5					
3					
4,5					



Με βάση τις πειραματικές τιμές του πίνακα 1.8.1 συμπεραίνω ότι:

.....

.....

Ο λόγος για τον οποίο αλλάζει η αντίσταση είναι:

.....

.....



Ενδεικτικές Τιμές.



### ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟΥ

Τοποθέτησε δύο ποτήρια φελιζόλ το ένα μέσα στο άλλο.

Κόψε στη μέση ένα τρίτο και κόλλησε στο πάνω μέρος του, με κόλλα στικ ή ξυλόκολλα, έναν δίσκο φελιζόλ. Αυτό θα αποτελέσει το καπάκι του θερμιδόμετρου.

Τύλιξε γύρω από μία οδοντογλυφίδα 13m σύρμα περιέλιξης διαμέτρου περίπου 0,25mm, αφήνοντας 20cm από κάθε άκρη ελεύθερα για να γίνουν οι συνδέσεις. Πέρασε το μπαλάκι που σχηματίζεται με διαφανές βερνίκι νυχιών, για να σταθεροποιηθεί, και άσε το μερικές ώρες να στεγνώσει καλά. Στη συνέχεια κόψε τα άκρα της οδοντογλυφίδας που περισσεύουν, με προσοχή ώστε να μην τραυματιστεί το σύρμα.

Κάνε δύο μικρές τρύπες στο καπάκι, πέρασε τις ελεύθερες άκρες της αντίστασης και στερεώσέ τις με χαρτοταινία. Κάψε τις δύο ελεύθερες άκρες του καλωδίου με έναν αναπτήρα ή τρίψε τις με ψιλό γυαλόχαρτο, για να φύγει η μόνωση του σύρματος. Φρόντισε ώστε η μπαλίτσα να μην ακουμπά στον πάτο του ποτηριού, όταν τοποθετήσουμε το καπάκι, αλλά να μπορεί να σκεπάζεται από 100ml νερό.

Μια τελευταία τρύπα στο καπάκι είναι απαραίτητη για την τοποθέτηση θερμιδόμετρου. Η διάμετρος της τρύπας πρέπει να είναι όση και του θερμιδόμετρου για να μην έχεις απώλειες θερμότητας.

Στο θερμιδόμετρο αυτό βάζεις 100ml νερό και η ανάδευση γίνεται με απαλές περιστροφικές κινήσεις.

#### Η μέτρηση R:

Πριν ξεκινήσεις το πείραμα, πρέπει να γνωρίζεις την αντίσταση του θερμιδόμετρου. Σύνδεσέ το με μια μπαταρία και, με τη βοήθεια βολτόμετρου και αμπερόμετρου, μέτρησε τη διαφορά δυναμικού στα άκρα του και την ένταση του ρεύματος που το διαρρέει. Υπολόγισε την αντίσταση και γράψε την πάνω του, όπως είναι και στα εργαστηριακά θερμιδόμετρα.



Εικόνα 1.8.12: Θερμιδόμετρο από φελιζόλ.



Εικόνα 1.8.15: Τοποθέτηση θερμιδόμετρου



Εικόνα 1.8.13: Η αντίσταση.



Εικόνα 1.8.14: Στήριξη της αντίστασης στο καπάκι.

## Πειραματική επιβεβαίωση του νόμου του Joule

### Πειραματική δραστηριότητα:



Μπορείς να υπολογίσεις πειραματικά το ποσό της θερμότητας που εκλύεται σε μια ηλεκτρική αντίσταση και να επιβεβαιώσεις έτσι τον νόμο του Joule;



Χρησιμοποιώντας δύο μπαταρίες, θερμιδόμετρο (του εργαστηρίου ή ιδιοκατασκευή), αμπερόμετρο, βολτόμετρο, διακόπτη και καλώδια, πραγματοποιήσε το κύκλωμα της εικόνας 1.8.16. Ζήτησε από τον/την καθηγητή/τρια να ελέγξει το κύκλωμα.

**Βάλε στο θερμιδόμετρο** ποσότητα νερού που να σκεπάζει την αντίσταση, μετρημένη με ογκομετρικό κύλινδρο.

ΟΧΙ ΚΙΝΔΥΝΕΥΩ  
ΝΑ ΚΑΩ

ΝΑΙ



Μέτρησε τη θερμοκρασία του  $\theta$  και καταχώρισε την στον πίνακα 1.8.2. Κλείσε τον διακόπτη και θέσε σε λειτουργία το χρονόμετρο.

$m = \dots\dots\dots$  (νερού)

$I = \dots\dots\dots$  (ένδειξη αμπερόμετρου)

$R = \dots\dots\dots$  (αναγράφεται στη συσκευή)

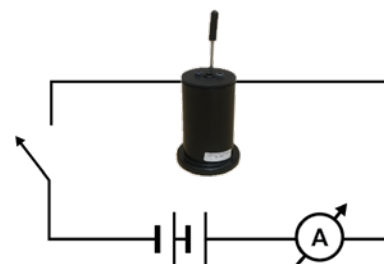
Μετά από  $t = 4 \text{ min}$  άνοιξε τον διακόπτη, ανάδευσε ελαφρά, καταχώρισε τη νέα τιμή της θερμοκρασίας στον πίνακα 1.8.2 και συμπλήρωσέ τον.

**Σημείωση 1:** Αν το εργαστήριο διαθέτει πολύμετρο, το χρησιμοποιείς για αμπερόμετρο, επιλέγοντας την κατάλληλη κλίμακα.

**Σημείωση 2:** Όπως γνωρίζεις από τη Β' Γυμνασίου, η θερμότητα που παίρνει μια μάζα νερού  $m$ , για να μεταβληθεί η θερμοκρασία της κατά  $\Delta T$  (ή  $\Delta\theta$ ), ισούται με  $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$  όπου  $c$  είναι η ειδική θερμότητα του

νερού και ισούται με  $4.180 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$

**Συνίσταται η χρήση τροφοδοτικού ή καινούριων μπαταριών.**



Εικόνα 1.8.16: Η σχηματική παράσταση του κυκλώματος.

Πίνακας 1.8.2				
$t \text{ (min)}$	$t \text{ (s)}$	$\theta$	$Q = c \cdot m \cdot \Delta T \text{ (J)}$	$Q = I^2 \cdot R \cdot \Delta t \text{ (W)}$
0				
4				



Με βάση τις πειραματικές τιμές του πίνακα 1.8.2 συμπεραίνουμε ότι:

.....  
.....

Ο λόγος για τον οποίο παρουσιάζεται κάποιο πειραματικό σφάλμα είναι:

.....  
.....



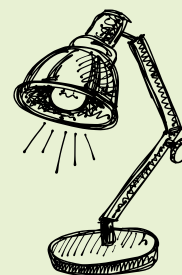
Ενδεικτικές Τιμές.



## Τι πληρώνουμε στην εταιρεία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας;

Όταν συνδέουμε μια λάμπα σε μια πρίζα, αυτό που ρέει από την πρίζα προς τη λάμπα είναι ενέργεια και όχι ηλεκτρόνια. Μιας και πρόκειται για εναλλασσόμενο ρεύμα, η ενέργεια προκαλεί ταλαντωτική κίνηση ηλεκτρονίων που υπάρχουν ήδη στο νήμα της λάμπας. Με τη διαφορά δυναμικού στη λάμπα να είναι 230V, σε κάθε μονάδα φορτίου (1C) που τίθεται σε ταλάντωση, αποδίδονται κατά μέσο όρο 230J ενέργειας. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της ενέργειας μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια, ενώ ένα μικρό μέρος της μετατρέπεται σε φως. Οι εταιρείες ηλεκτρισμού δεν πουλούν ηλεκτρόνια, πουλούν ενέργεια. Τα ηλεκτρόνια τα βάζουμε εμείς.

Το 1J όμως είναι μια πολύ μικρή μονάδα ενέργειας και δεν εξυπηρετεί τις εταιρείες παροχής ηλεκτρικής ενέργειας να χρησιμοποιούν τη μονάδα αυτή. Έτσι χρησιμοποιούν μια πολύ μεγαλύτερη μονάδα, την κιλοβατώρα (1kWh).



Εικόνα 1.8.17: Πολύ μικρό μέρος της ενέργειας, που προσφέρεται από το ηλεκτρικό ρεύμα σε μια λάμπα πυράκτωσης μετατρέπεται τελικά σε φως.

Μία κιλοβατώρα είναι η ενέργεια που καταναλώνει μία συσκευή ισχύος 1kW (1000W) αν δουλέψει για μία ώρα (3600 s).

Οπότε  $1\text{kWh} = 1000\text{ W} \cdot 3600\text{ s} = 3.600.000\text{J}$

Παράδειγμα: Ένα πιστολάκι μαλλιών με ισχύ 1500W, αν δουλέψει 15 min θα καταναλώσει ενέργεια

$W = 1,5\text{ kW} \cdot 0,25\text{ h} = 0,375\text{ kWh}$  ή  $W = 0,375 \cdot 3.600.000\text{J} = 1.350.000\text{J}$ .

Η κατανάλωσή σας

Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας	1.052 kWh
Περίοδος Κατανάλωσης	08/06/2023 - 06/08/2023
Ημέρες	60
Ημ/νία Έκδοσης	08/08/2023
Α/Α Λογαριασμού	1340393245

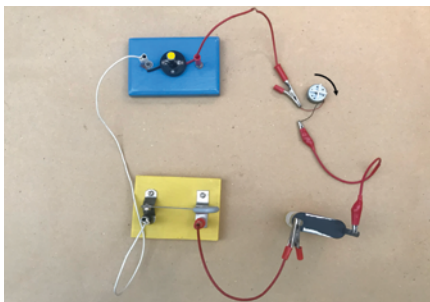
Εικόνα 1.8.18: Λογαριασμός εταιρείας παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

## Μεταμορφώσεις ενέργειας σε ένα κύκλωμα

Πρακτική δραστηριότητα:



Μπορείς να προσδιορίσεις τις μεταμορφώσεις της ενέργειας που πραγματοποιούνται σε ένα κύκλωμα;



Εικόνα 1.8.19: Κύκλωμα με μπαταρία, λάμπα και κινητήρα.



Βίντεο 1.8.2: Το πείραμα.



Συνιστάται η χρήση τροφοδοτικού ή καινούριων μπαταριών.



Πραγματοποιώντας το κύκλωμα της εικόνας 1.8.19, διακρίνω τις παρακάτω μεταμορφώσεις της ενέργειας:

Μπαταρία

.....

.....

Λαμπάκι

.....

.....

Κινητήρας

.....

.....



## Διεπιστημονικές – Διαθεματικές Εφαρμογές της Θεωρίας, Γενίκευση, Εμπέδωση, Ερμηνείες με τον μικρόκοσμο

### 1. Στο παρελθόν και σήμερα

Πώς χτίστηκαν οι πυραμίδες και ο Παρθενώνας; Οι αρχαίοι λαοί είχαν αναπτύξει τεχνολογία, βασιζόμενοι στη μηχανική, και με συστήματα μοχλών κατάφεραν να παράξουν αξιομνημόνευτο έργο.



**Εικόνα 1.8.21:** Με τους σύγχρονους γερανούς, ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική.

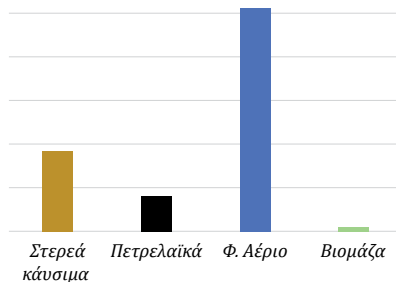
Η χημική ενέργεια των εργατών μετατρέπεται σε μηχανική και θερμική.

Σήμερα, με τη βοήθεια του ηλεκτρισμού, είμαστε σε θέση να κάνουμε τη δουλειά μας πολύ πιο εύκολα.



**Εικόνα 1.8.20:** Η Ακρόπολη των Αθηνών.

Ηλεκτροπαραγωγή από  
θερμικούς σταθμούς



**Εικόνα 1.8.23:** Αναλογία ισχύος των θερμοηλεκτρικών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ανά είδος καυσίμου (Πηγή: Εθνικό σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα, Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας).

### 2. Ισχύς των θερμοηλεκτρικών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Συγκρίσεις, επιλεγμένα στατιστικά, συμπεράσματα

Η ζωή μας είναι απόλυτα εξαρτημένη από την ηλεκτρική ενέργεια. Στην Ελλάδα η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται σε στερεά καύσιμα (λιγνίτη), πετρελαϊκά καύσιμα, φυσικό αέριο, βιομάζα-βιοαέριο και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.). Στο διάγραμμα της εικόνας 1.8.23 φαίνεται η αναλογία ισχύος των θερμοηλεκτρικών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ανά είδος καυσίμου.

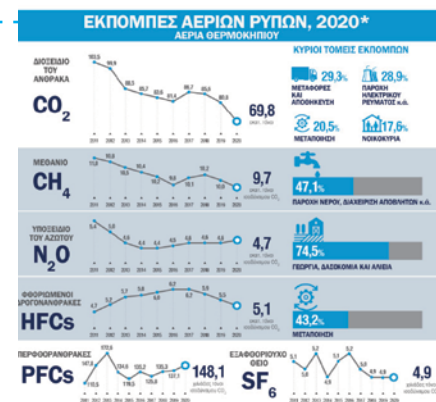


**Εικόνα 1.8.22:** Ατμοηλεκτρικός Σταθμός Αγίου Δημητρίου.

### 3. Ενεργειακό αποτύπωμα του διοξειδίου του άνθρακα

Το ενεργειακό αποτύπωμα αποτελεί έναν όρο που περιγράφει την ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) που εκλύεται έμμεσα ή άμεσα στην ατμόσφαιρα εξαιτίας των καθημερινών δραστηριοτήτων του ανθρώπου.

Όπως φαίνεται στην εικόνα 1.8.24, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ευθύνεται για το 29% του διοξειδίου του άνθρακα που εκλύεται στη χώρα μας.



**Εικόνα 1.8.24:** Εκπομπές αέριων ρύπων στην Ελλάδα (πηγή: ΕΛΣΤΑΤ).



**Ερωτήσεις**

1. Φτιάξε έναν κατάλογο με τους ηλεκτρικούς καταναλωτές που έχεις στο σπίτι και σημείωσε τις μεταμορφώσεις ενέργειας που συμβαίνουν σε καθέναν από αυτούς.

2. Ποια είναι η σωστή απάντηση στην ερώτηση «Εξοφλώντας τον λογαριασμό της εταιρείας παροχής ηλεκτρικής ενέργειας πληρώνουμε»:

- i. Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος
- ii. Ηλεκτρική Ισχύ
- iii. Ηλεκτρική ενέργεια
- iv. Όλα τα παραπάνω

3. Όταν διπλασιάζεται η ένταση του ρεύματος που διαρρέει ένα θερμαντικό στοιχείο, τότε η θερμότητα που εκπέμπει:

- i. Διπλασιάζεται
- ii. Τετραπλασιάζεται
- iii. Υποδιπλασιάζεται
- iv. Υποτετραπλασιάζεται

4. Ποια από τις παρακάτω συσκευές λειτουργεί αποκλειστικά χάρη στο φαινόμενο Joule;

- i. Κλιματιστικό
- ii. Βραστήρας νερού
- iii. Κινητό τηλέφωνο
- iv. Τηλεόραση

5. Ο Ανδρέας έχει μπλέξει τα φυσικά μεγέθη με τις μονάδες τους. Μπορείς να τον βοηθήσεις συμπληρώνοντας τον πίνακα;

Ενέργεια	Ισχύς

6. Να συμπληρωθεί το κενό με τη σωστή επιλογή από αυτές που δίνονται στην παρένθεση.

Όταν μια αντίσταση διαρρέεται από ηλεκτρικό ..... (κύκλωμα, ρεύμα, φορτίο), η θερμοκρασία της ..... (αυξάνεται, μειώνεται) και αντίστοιχα ..... (αυξάνεται, μειώνεται) η θερμική της ενέργεια. Όταν η ..... (θερμότητα, θερμοκρασία, διαφορά δυναμικού) της αντίστασης γίνει μεγαλύτερη από του περιβάλλοντος, ..... (θερμότητα, θερμοκρασία, διαφορά δυναμικού) μεταφέρεται από την αντίσταση στο περιβάλλον.

7. i. Με ποια σχέση συνδέονται μεταξύ τους η ηλεκτρική ισχύς, η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος και η διαφορά δυναμικού;

ii. Ποια σχέση δίνει τη θερμότητα που εκλύεται στο περιβάλλον από μια ηλεκτρική αντίσταση;

8. Να γίνει η διάκριση μεταξύ κιλοβάτ και κιλοβατώρας.

9. Ποια μονάδα αντιπροσωπεύει καθένα από τα παρακάτω;

- i.  $1 \text{ J} / 1 \text{ s}$
- ii.  $1 \text{ C} / 1 \text{ s}$
- iii.  $1 \text{ W} \cdot 1 \text{ s}$

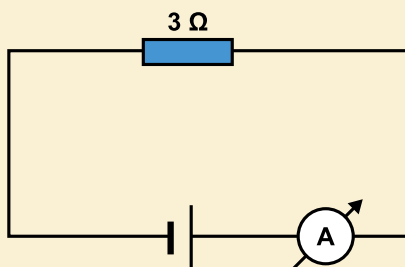
10. Ο Γιώργος δείχνει στη Μάιρα τη διπλανή ταμπέλα που βρίσκεται κοντά στο σπίτι. Γιατί η Μάιρα, που είναι πολύ καλή στη Φυσική, σκάει στα γέλια;

**ΚΙΝΔΥΝΟΣ - ΘΑΝΑΤΟΣ**  
Καλώδια με πολύ υψηλή αντίσταση:  
**10.000.000Ω**  
**ΜΗΝ ΠΛΗΣΙΑΖΕΤΕ**

### Ασκήσεις

1. Πόση είναι η ισχύς μιας λάμπας που, όταν συνδεθεί σε τάση 2,5V, διαρρέεται από ρεύμα έντασης 0,3A;
2. Πόση ενέργεια καταναλώνει η λάμπα της προηγούμενης άσκησης αν λειτουργήσει για 5 min;
3. Η ένδειξη του αμπερόμετρου του παρακάτω κυκλώματος είναι 2A. Πόση είναι η ισχύς που καταναλώνει η αντίσταση;

Πόση θερμότητα εκλύεται στο περιβάλλον σε χρόνο 10 s;



4. Αν δύο όμοιες αντιστάσεις συνδεθούν σε σειρά, ποια από τα παρακάτω μεγέθη είναι ίδια και για τις δύο; Η διαφορά δυναμικού στα άκρα τους, η ένταση του ρεύματος που τις διαρρέει, η ισχύς που καταναλώνεται;

Τι αλλάζει στην απάντηση αν οι αντιστάσεις είναι διαφορετικές;

5. Αν δύο όμοιες αντιστάσεις συνδεθούν παράλληλα, ποια από τα παρακάτω μεγέθη είναι ίδια και

για τις δύο; Η διαφορά δυναμικού στα άκρα τους, η ένταση του ρεύματος που τις διαρρέει, η ισχύς που καταναλώνεται;

Τι αλλάζει στην απάντηση αν οι αντιστάσεις είναι διαφορετικές;

### Προβλήματα

1. Στο εμπόριο υπάρχουν ασφάλειες 10A, 16A, 20A, 35A, 40A και 50A. Τι ασφάλεια θα επιλέξουμε για φούρνο κουζίνας με χαρακτηριστικά λειτουργίας 230V – 2760W;
2. Τα φώτα πορείας ενός αυτοκινήτου έχουν ισχύ 24W ενώ οι προβολείς 55W. Οι προβολείς ή τα φώτα έχουν μικρότερη αντίσταση (τα αυτοκίνητα διαθέτουν μία μπαταρία);
3. Δύο λαμπτήρες πυράκτωσης έχουν ισχύ 60W και 100W. Ποιος από τους δύο έχει μικρότερη αντίσταση;  
  
Θεωρώντας ότι τα νήματα των λαμπτήρων είναι από το ίδιο υλικό και έχουν το ίδιο μήκος, ποιο νήμα έχει το μεγαλύτερο πάχος;
4. Μια λάμπα πυράκτωσης 60W είναι συνδεδεμένη σε τάση 230 V. Πόσο κοστίζει η συνεχής λειτουργία της για μία εβδομάδα, αν η τιμή του ρεύματος είναι 0,15€/kWh; Αν αντικαταστήσουμε τον λαμπτήρα με LED ώστε να έχουμε το ίδιο φως αλλά ισχύ 12W, πόσο θα κοστίσει ο ίδιος χρόνος λειτουργίας της λάμπας;

## Σύνοψη κεφαλαίου 1

- Το φορτίο είναι **μονόμετρο φυσικό μέγεθος** και η μονάδα του στο διεθνές σύστημα είναι το **1C (Coulomb)**.
- Έχουν ανακαλυφθεί δύο είδη φορτίου. Το «**θετικό**» και το «**αρνητικό**». Όσα πειράματα κι αν έχουν γίνει, δεν έχει βρεθεί τρίτο είδος φορτίου!
- Αντικείμενα φορτισμένα με **όμοια** ηλεκτρικά φορτία πάντοτε **αλληλοαπωθούνται**.
- Αντικείμενα φορτισμένα με **αντίθετα** ηλεκτρικά φορτία πάντοτε **έλκονται αμοιβαία**.
- Τα άτομα αποτελούνται από **πρωτόνια** που είναι θετικά φορτισμένα, **νετρόνια** που είναι ουδέτερα και **ηλεκτρόνια** που είναι αρνητικά φορτισμένα.
- Τα πρωτόνια και τα ηλεκτρόνια έχουν **αντίθετα φορτία**, ακριβώς του ίδιου μεγέθους,  $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .
- Το φορτίο κάθε ηλεκτρισμένου σώματος (θετικού ή αρνητικού) είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του φορτίου του ηλεκτρονίου, το οποίο ονομάζεται **στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο**  $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .
- Ένα σώμα είναι δυνατό να φορτιστεί με **τριβή**, με **επαφή** ή με **επαγωγή**.
- Σε κάθε φυσική διεργασία, το ολικό φορτίο διατηρείται **σταθερό**.
- Τα σώματα που επιτρέπουν τη μετακίνηση ηλεκτρικών φορτίων, διαμέσου του υλικού τους, τα ονομάζουμε **αγωγούς**.
- Τα σώματα που δεν επιτρέπουν τη μετακίνηση φορτίων διαμέσου του υλικού τους, τα ονομάζουμε **μονωτές**.
- Ένα σώμα είναι ηλεκτρισμένο όταν εμφανίζει **ηλεκτρικές ιδιότητες**. Αυτό συμβαίνει όταν έχει πλεόνασμα ή έλλειμμα ηλεκτρονίων (φόρτιση) ή αν τα φορτία του σώματος δεν κατανομούνται ομοιόμορφα σε όλη του την έκταση.
- Η ηλεκτρική δύναμη μεταξύ δύο σημειακών φορτίων έχει διεύθυνση την ευθεία που περνά από τα σημειακά φορτία και μέτρο που είναι ανάλογο του γινομένου των φορτίων και αντιστρόφως ανάλογο του τετραγώνου της μεταξύ τους απόστασης (**Νόμος Coulomb**).
- **Ηλεκτρικό πεδίο** είναι ο χώρος που έχει την ιδιότητα να ασκεί ηλεκτρικές δυνάμεις σε κάθε ηλεκτρισμένο σώμα που φέρνουμε μέσα σ' αυτόν. Η απεικόνιση του ηλεκτρικού πεδίου γίνεται με τις δυναμικές γραμμές, οι οποίες έχουν τις εξής ιδιότητες:
  - (α) Είναι πιο πυκνές εκεί που οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις είναι ισχυρότερες.
  - (β) Μας δείχνουν την κατεύθυνση των δυνάμεων.
  - (γ) Δεν τέμνονται μεταξύ τους.
  - (δ) Ξεκινούν, κατά σύμβαση, από τα θετικά φορτία και καταλήγουν στα αρνητικά.
- Ένα φορτισμένο σωματίδιο, μέσα σε ένα πεδίο, έχει αποθηκευμένη ενέργεια που λέγεται δυναμική **ηλεκτρική ενέργεια**.
- Ως διαφορά δυναμικού  $V_{AB}$  ορίζεται το φυσικό μέγεθος που μας δίνει την ενέργεια του πεδίου για να μετακινηθεί μία μονάδα φορτίου από το σημείο A στο σημείο B.
- Το **ηλεκτρικό ρεύμα** είναι η προσανατολισμένη κίνηση ηλεκτρονίων ή γενικότερα φορτισμένων σωματιδίων.
- **Ένταση**  $I$  του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει έναν αγωγό είναι το πηλίκο του ηλεκτρικού φορτίου  $Q$  που διέρχεται από μια διατομή του αγωγού σε χρόνο  $t$  δια τον χρόνο αυτό.
- Η **ηλεκτρική αντίσταση** ενός αγωγού ορίζεται από το πηλίκο της διαφοράς δυναμικού ή τάσης  $V$  στα άκρα του αγωγού προς την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος  $I$  το οποίο περνά μέσα από τον αγωγό.

- Η αντίσταση  $R$  ορισμένων αγωγών είναι σταθερή σε μια δεδομένη θερμοκρασία και δεν εξαρτάται από τη διαφορά δυναμικού που εφαρμόζεται στα άκρα τους. Οι αγωγοί αυτοί ονομάζονται **ωμικοί**.
- Η αντίσταση  $R$  ενός μεταλλικού αγωγού σε δεδομένη θερμοκρασία εξαρτάται από το υλικό του αγωγού, είναι **ανάλογη του μήκους** του και **αντιστρόφως ανάλογη του εμβαδού διατομής του**.
- **Ισοδύναμη Αντίσταση** είναι η αντίσταση με την οποία, αν αντικαταστήσουμε όλες τις αντιστάσεις μιας συνδεσμολογίας, θα έχουμε τα ίδια αποτελέσματα.
- Η ισοδύναμη αντίσταση δύο αντιστάσεων που συνδέονται σε σειρά είναι ίση με το άθροισμα των αντιστάσεων αυτών και είναι μεγαλύτερη από καθεμιά από αυτές.
- Η ισοδύναμη αντίσταση δύο αντιστάσεων που συνδέονται παράλληλα είναι μικρότερη και από τη μικρότερη από τις δύο αντιστάσεις και το αντίστροφό της δίνεται από το άθροισμα των αντιστρόφων των δύο αντιστάσεων.
- Αν, για οποιονδήποτε λόγο, δημιουργηθεί σε ένα κύκλωμα μια διαδρομή με πολύ μικρή αντίσταση, τότε η ένταση του ρεύματος γίνεται μεγάλη και λέμε ότι έχουμε **βραχυκύκλωμα**.
- **Οι ασφάλειες** χρησιμοποιούνται για να μας προστατεύουν αν, για οποιονδήποτε λόγο, προκληθεί βραχυκύκλωμα.
- Καθώς τα ελεύθερα ηλεκτρόνια των αγωγών αλληλεπιδρούν με τα θετικά ιόντα του μετάλλου, χάνουν μέρος της κινητικής τους ενέργειας (η πηγή βέβαια το αναπληρώνει). Η ενέργεια αυτή πηγαίνει στα ιόντα και η άτακτη κίνησή τους γίνεται εντονότερη. Δηλαδή ο αγωγός αποκτά μεγαλύτερη θερμική ενέργεια. Μακροσκοπικά αυτό το αντιλαμβανόμαστε ως αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού. Όταν η θερμοκρασία του αγωγού γίνει μεγαλύτερη από του περιβάλλοντος, θερμότητα μεταφέρεται από την αντίσταση στο περιβάλλον (**φαινόμενο Joule**). Η θερμότητα αυτή είναι ανάλογη με το τετράγωνο της έντασης του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό, με την αντίστασή του και με τον χρόνο κατά τον οποίο ο αγωγός διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα.
- Οι ηλεκτρικές συσκευές μεταμορφώνουν ηλεκτρική ενέργεια σε ενέργεια **άλλης μορφής**. Η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας, που μεταμορφώνεται σε μια συσκευή, είναι ανάλογη με τη διαφορά δυναμικού στα άκρα της συσκευής, με την ένταση του ρεύματος που τη διαρρέει και με τον χρόνο λειτουργίας της.
- Η **ισχύς** μιας ηλεκτρικής συσκευής είναι ανάλογη με τη διαφορά δυναμικού στα άκρα της συσκευής και με την ένταση του ρεύματος που τη διαρρέει.
- Ο **συντελεστής** απόδοσης μιας ηλεκτρικής συσκευής είναι το πηλίκο της ωφέλιμης ισχύος (ρυθμός παραγωγής επιθυμητής μορφής ενέργειας) προς την προσφερόμενη ισχύ (ή καταναλισκόμενη).
- Μία **κιλοβατώρα** είναι η ενέργεια που καταναλώνει μία συσκευή ισχύος  $1\text{kW}$  ( $1000\text{W}$ ) αν δουλέψει για μία ώρα ( $3600\text{s}$ ).

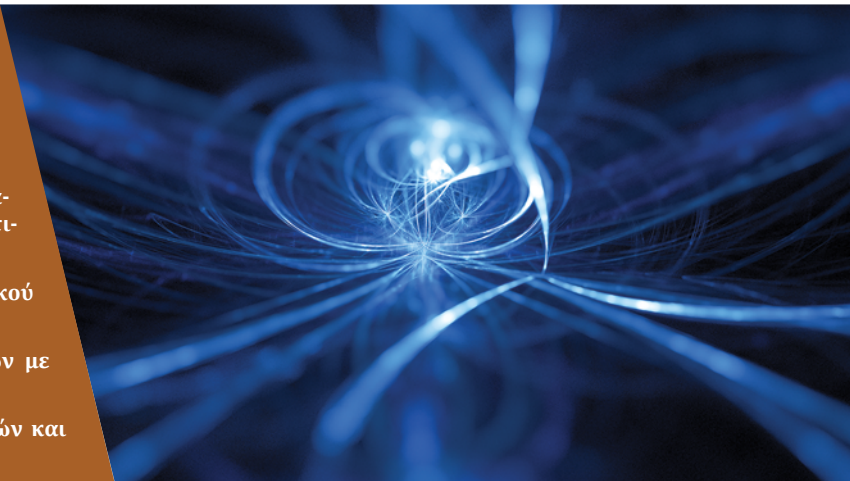


Έλεγξε τις γνώσεις σου  
λύνοντας σταυρόλεξο.

## 2.1 Μαγνήτες – Μαγνητικό Πεδίο της Γης

### Μετά από αυτή την ενότητα θα είσαι σε θέση να:

1. αναγνωρίζεις χρήσεις των μαγνητών (μαγνητισμού) στην καθημερινότητα.
2. αναπαριστάς γραφικά το μαγνητικό πεδίο ενός μαγνήτη (ραβδόμορφος – πεταλοειδής) και το μαγνητικό πεδίο της Γης.
3. αναφέρεις την έννοια της έντασης του μαγνητικού πεδίου.
4. συνδέεις την πυκνότητα των δυναμικών γραμμών με την ένταση του μαγνητικού πεδίου.
5. αναγνωρίζεις τη διαφορά μεταξύ των γεωγραφικών και των μαγνητικών πόλων της Γης.
6. αναφέρεις τρόπους μαγνήτισης – απομαγνήτισης και να τους εξηγείς μικροσκοπικά.



### Για τις δραστηριότητες της παραγράφου αυτής θα χρειαστούν:

Ραβδόμορφοι μαγνήτες, μαγνητική βελόνα σε βάση, καρφιά, βίδα, συνδετήρες, πιστολάκι μαλλιών, σπασμένος ραβδόμορφος μαγνήτης, πεταλοειδής μαγνήτης, ρινίσματα σιδήρου.



Στα γαλλικά ο μαγνήτης ονομάζεται «aimant» και η λέξη αυτή προέρχεται από το ρήμα aimer που σημαίνει «αγαπώ».

**Εικόνα 2.1.1:** Το ορυκτό αυτό λέγεται Μαγνητίτης και η σύστασή περιλαμβάνει σίδηρο και οξυγόνο. Το επίσημο όνομά του είναι επιτεταρτοξείδιο του σιδήρου και έχει χημικό τύπο  $Fe_3O_4$ .



**Εικόνα 2.1.2:** Λίγο από το ορυκτό της εικόνας 2.1.1 μας δίνει τη δυνατότητα να «κολλάμε» αναμνηστικά αντικείμενα και υπενθυμίσεις στην πόρτα του ψυγείου χωρίς να αφήνουμε σημάδια. Ακόμα και η ίδια η πόρτα του ψυγείου, με τη βοήθειά του, εφαρμόζει αεροστεγώς!



### Ας αναρωτηθούμε

1. Ποια ιδιότητα των μαγνητών αξιοποιούμε σε όλα τα παραπάνω και ποια είναι η σύνδεσή της με τη γαλλική λέξη για τον μαγνήτη;
2. Γνωρίζεις τι είναι τα αντικείμενα της εικόνας 2.1.2 και ποια η χρήση τους;



Εικόνα 2.1.3



Οι μαγνήτες αλληλεπιδρούν μόνο με τρία υλικά και κάποια από τα κράματά τους. Τα υλικά αυτά ονομάζονται σιδηρομαγνητικά και είναι ο σίδηρος, το νικέλιο και το κοβάλτιο.

**Πρακτική δραστηριότητα:**

**?** Πλησιάζοντας μια βίδα σε έναν ραβδόμορφο μαγνήτη, η δύναμη που δέχεται η βίδα είναι ισχυρότερη:

.....

**?** Πλησίασε τη βίδα στον μαγνήτη, σε διάφορα σημεία γύρω από αυτόν. Τι παρατηρείς; .....

.....

Πόσες περιοχές ισχυρής μαγνητικής επίδρασης έχει ο μαγνήτης που χρησιμοποίησες; .....

Τι συμβαίνει στο μέσο του ραβδόμορφου μαγνήτη;

.....

Χρησιμοποίησε έναν πεταλοειδή μαγνήτη και επανάλαβε. Τι παρατηρείς; .....

.....

Ποια είναι η «αδύναμη περιοχή» ενός πεταλοειδή μαγνήτη;

.....

**?** Κάθε μαγνήτης παρουσιάζει ..... περιοχές στις οποίες η αλληλεπίδρασή του με τη βίδα είναι πολύ πιο ..... απ' ό,τι στις υπόλοιπες περιοχές.

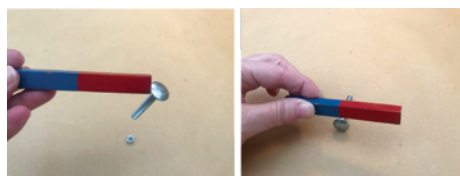
**Πρακτική δραστηριότητα:**

**?** Πώς αλληλεπιδρούν δύο ραβδόμορφοι μαγνήτες μεταξύ τους;

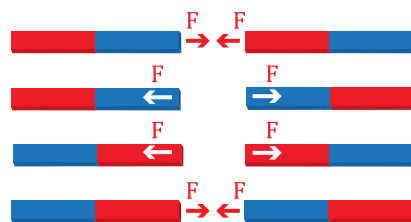


**?** «Ξάπλωσε» δύο ραβδόμορφους μαγνήτες πάνω στο θρανίο και πλησίασε τις περιοχές με ίδιο και τις περιοχές με διαφορετικό χρώμα, όπως στην εικόνα 2.1.6.

Τι παρατηρείς; .....



Εικόνα 2.1.5: Μαγνήτης και βίδα.



Εικόνα 2.1.6: Η αλληλεπίδραση ραβδόμορφων μαγνητών.

Βίντεο 2.1.1: Το πείραμα.



Οι περιοχές με ίδιο χρώμα πάντοτε ..... και οι περιοχές με διαφορετικό χρώμα πάντοτε .....

### Πρακτική δραστηριότητα:



Αν έχεις έναν μακρόστενο μαγνήτη που μπορεί να κινηθεί ελεύθερα γύρω από άξονα που περνά από το κέντρο του, προς τα πού θα κοιτάζει η κάθε του άκρη;



Για τη δραστηριότητα αυτή είναι σημαντικό να γνωρίζεις, εκ των προτέρων, προς τα πού βρίσκεται ο (γεωγραφικός) Βορράς (North Pole) και ο γεωγραφικός Νότος (South Pole).

Η μαγνητική βελόνα είναι ένας πολύ ελαφρύς μακρόστενος μαγνήτης που στηρίζεται σε βάση και μπορεί να περιστρέφεται ελεύθερα γύρω από τον άξονα που περνά από το κέντρο του (εικόνα 2.1.7).

**Άφησε τον μαγνήτη να ισορροπήσει** και σημείωσε το χρώμα του άκρου και προς τα πού στράφηκε (εικόνα 2.1.7.).

.....

**Γύρισε τον μαγνήτη προσεκτικά** προς άλλη κατεύθυνση και άφησέ τον να ισορροπήσει ξανά. Γράψε τις παρατηρήσεις σου αναφορικά με «το προς τα πού» στρέφεται «αυθόρμητα» κάθε άκρο του μαγνήτη.

.....

.....

**Δώσε μια ονομασία** για καθένα από τα άκρα του μαγνήτη.

.....



Το ένα άκρο του μαγνήτη στρέφεται πάντοτε προς τον ..... της Γης και το άλλο προς το ..... της Γης. Η Γη ..... με τον μαγνήτη.



Εικόνα 2.1.7: Η μαγνητική βελόνα.



## Οι πόλοι του μαγνήτη

Κάθε μαγνήτης διαθέτει δύο περιοχές ισχυρής αλληλεπίδρασης, οι οποίες ονομάζονται πόλοι. Συχνά οι πόλοι στους μαγνήτες των εργαστηρίων είναι βαμμένοι ώστε να ξεχωρίζουν αμέσως. Σε έναν ραβδόμορφο μαγνήτη, οι περιοχές αυτές είναι τα άκρα του. Το ίδιο συμβαίνει και στη μαγνητική βελόνα. Έτσι ο πόλος της μαγνητικής βελόνας που έλκεται από τον βόρειο γεωγραφικό πόλο της Γης, ονομάζεται βόρειος μαγνητικός πόλος (N). Βόρειος μαγνητικός

πόλος όμως ονομάζεται και κάθε μαγνητικός πόλος, άλλου μαγνήτη, που απωθείται από αυτόν. Αντίστοιχα, ο πόλος της μαγνητικής βελόνας που έλκεται από τον νότιο γεωγραφικό πόλο της Γης, ονομάζεται νότιος μαγνητικός πόλος (S). Νότιος μαγνητικός πόλος όμως ονομάζεται και κάθε μαγνητικός πόλος, άλλου μαγνήτη, που απωθείται από αυτόν.

Η Γη αλληλεπιδρά με τους μαγνήτες γιατί είναι και η ίδια ένας γιγάντιος αλλά πολύ ασθενής μαγνήτης με τους πόλους του κοντά στους γεωγραφικούς πόλους. Όμως κοντά στον γεωγραφικό βόρειο πόλο βρίσκεται ο μαγνητικός νότιος πόλος της (έλκει τον βόρειο πόλο των μαγνητών) και κοντά στον γεωγραφικό νότιο πόλο βρίσκεται ο μαγνητικός βόρειος πόλος της (έλκει τον νότιο πόλο των μαγνητών).



Εικόνα 2.1.8: Το μαγνητικό πεδίο της Γης.

**Πρακτική δραστηριότητα:**



Τι θα συμβεί αν κόψεις έναν ραβδόμορφο μαγνήτη στη μέση;



Πάρε έναν σπασμένο μαγνήτη και πλησίασε τις άκρες καθενός από τα κομμάτια του στους πόλους ενός ολόκληρου μαγνήτη.

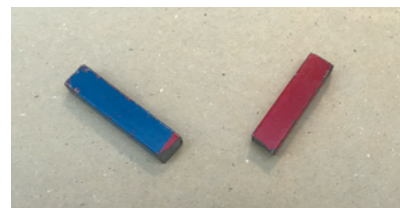
Τι παρατηρείς; .....



Αν σπάσω ένα ..... στη μέση θα προκύψουν δύο μαγνήτες, ο καθένας από τους οποίους θα έχει ένα ..... και ένα νότιο .....



Βίντεο 2.1.2: Το πείραμα.



Εικόνα 2.1.9: Σπασμένος μαγνήτης.

**Πρακτική δραστηριότητα:**



Είναι δυνατό να μαγνητίσουμε ή να απομαγνητίσουμε ένα υλικό;





**Ακούμπησε σε έναν μαγνήτη, ένα καρφί, για ένα λεπτό, όπως δείχνει η εικόνα 2.1.10.**

**Πλησίασε το καρφί** αυτό σε έναν συνδετήρα. Τι παρατηρείς;

.....

**Ζέστανε το καρφί** με ένα πιστολάκι μαλλιών ή πέταξέ το μερικές φορές στο πάτωμα. Πλησίασέ το και πάλι στον συνδετήρα. Τι συμβαίνει τώρα;

.....

**Σημείωση:** Τα απλά καρφιά του εμπορίου είναι κατασκευασμένα από ένα κράμα σιδήρου που χάνει εύκολα τις μαγνητικές του ιδιότητες.



Το καρφί πάνω στο οποίο τοποθετήθηκε ο μαγνήτης απόκτησε ..... ιδιότητες. Όταν όμως ζεστάθηκε, οι ιδιότητες αυτές .....



Εικόνα 2.1.10: Μαγνήτιση καρφιού.



Βίντεο 2.1.3: Το πείραμα (οι χρόνοι είναι πραγματικοί).

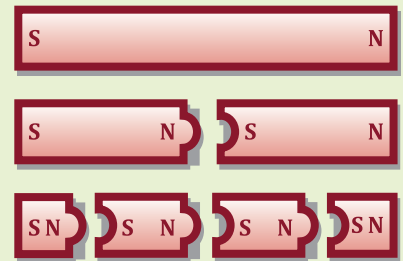
## Ερμηνεία του Μαγνητισμού με αναφορά στον «κόσμο» των Ατόμων και των Μορίων

Σπάζοντας έναν μαγνήτη, οι μαγνητικοί πόλοι δεν διαχωρίζονται. Θα προκύψουν δυο μαγνήτες, με δύο πόλους ο καθένας (έναν Βόρειο και έναν Νότιο). Αν συνεχίσουμε και σπάμε τους δύο μαγνήτες σε περισσότερα κομμάτια, παίρνουμε κάθε φορά μαγνήτες με δύο πόλους ο καθένας. Ακόμα κι αν φτάσουμε σε ένα μόριο (ή άτομο) του αρχικού μαγνήτη, θα έχουμε πάλι παρόντες και τους δύο διαφορετικούς πόλους του. Πρόκειται για έναν μοριακό (ή ατομικό) μαγνήτη.

Στο εσωτερικό ενός μόνιμου μαγνήτη οι στοιχειώδεις μαγνήτες από τους οποίους αποτελείται είναι έτσι τακτοποιημένοι, ώστε συνολικά να έχουμε έναν μαγνήτη.

Ένα σιδηρομαγνητικό υλικό αποτελείται από άτομα – μόρια που είναι στοιχειώδεις μαγνήτες. Αν αυτοί οι στοιχειώδεις μαγνήτες είναι τυχαία κατανομημένοι στο εσωτερικό του, τότε το αντικείμενο δεν συμπεριφέρεται σαν μαγνήτης.

Η **μαγνήτιση** ενός σιδηρομαγνητικού υλικού γίνεται όταν προσανατολίζουμε τους εσωτερικούς του στοιχειώδεις μαγνήτες. Αυτό γίνεται αν επιδράσουμε σε αυτούς και τους στρέψουμε προς την ίδια κατεύθυνση. Από την άλλη, εάν θερμάνουμε ισχυρά ένα μαγνητισμένο υλικό (π.χ πάνω από τους 770 °C για αντικείμενο από σίδηρο), τότε καταστρέφεται η τάξη στο εσωτερικό του και το αντικείμενο **απομαγνητίζεται**.



Εικόνα 2.1.11: Η θραύση ενός μαγνήτη οδηγεί σε νέους μαγνήτες.

## Το μαγνητικό πεδίο

### Πρακτική δραστηριότητα



Μπορείς να διαπιστώσεις αν σε έναν χώρο ασκούνται μαγνητικές δυνάμεις; Αναζήτησε τα υλικά που χρειάζεσαι και σχεδίασε την κατάλληλη δραστηριότητα.

.....

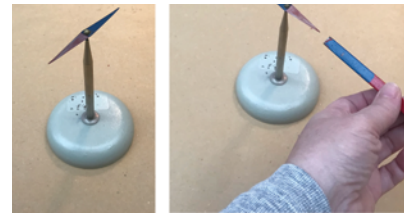
.....



**Πλησίασε τη γόμα σου** σε διάφορα σημεία γύρω από τη μαγνητική βελόνα. Τι παρατηρείς; .....

**Πλησίασε τον μαγνήτη** σε διάφορα σημεία γύρω από τη μαγνητική βελόνα. Τι παρατηρείς τώρα; .....

**Απομάκρυνε αργά τον μαγνήτη** από τη μαγνητική βελόνα. Εξακολουθεί η βελόνα να δέχεται μαγνητικές δυνάμεις όταν η μεταξύ τους απόσταση ξεπεράσει το μισό μέτρο; .....



Εικόνα 2.1.12: Μαγνήτης και μαγνητική βελόνα.



Η μαγνητική βελόνα δεν ..... με τη γόμα. Όταν όμως πλησιάσει τον μαγνήτη, δέχεται ..... από αυτόν.

Ο χώρος γύρω από τον μαγνήτη αποκτά την ..... να ασκεί μαγνητικές δυνάμεις σε κατάλληλα σώματα που βρίσκονται κοντά.

Η ιδιότητα αυτή, που εμφανίζεται στην περιοχή, υπάρχει ακόμα κι όταν δεν ..... η μαγνητική βελόνα. Σε σχετικά μεγάλη ..... από τον μαγνήτη δεν φαίνεται να ασκούνται μαγνητικές δυνάμεις στον ανιχνευτή. Η ιδιότητα δεν είναι πλέον ανιχνεύσιμη.



## Μαγνητικό Πεδίο

Ονομάζουμε μαγνητικό πεδίο τον χώρο που έχει την ιδιότητα να δρουν σε αυτόν μαγνητικές δυνάμεις.

### Πρακτική δραστηριότητα:



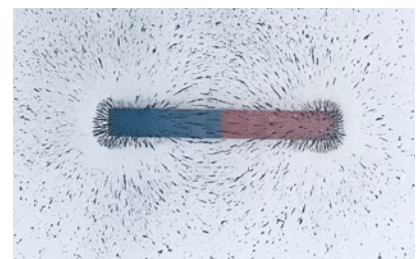
**Έχεις διαπιστώσει ότι είναι δυνατόν να απεικονίσεις ένα ηλεκτρικό πεδίο ώστε να έχεις μια οπτική αίσθησή του. Μπορεί να γίνει το ίδιο με το μαγνητικό πεδίο;**



**Τοποθέτησε ραβδόμορφο μαγνήτη** κάτω από ένα διαφανές πλαστικό (ή χαρτί).

**Άρχισε να ρίχνεις** πάνω του, προσεκτικά και ομοιόμορφα, **ρινίσματα** σιδήρου.

Ζωγράφισε στο πλαίσιο το σχήμα που βλέπεις να παίρνουν τα ρινίσματα



Εικόνα 2.1.13: Το μαγνητικό πεδίο ραβδόμορφου μαγνήτη.



Η διάταξη των ρινισμάτων σιδήρου δίνει μια οπτική αίσθηση του ..... πεδίου, γύρω από τον ραβδόμορφο μαγνήτη.

Τα ρινίσματα είναι πιο πυκνά στους ....., όπου και οι μαγνητικές ..... είναι ισχυρότερες.  
 Το μαγνητικό πεδίο του ραβδόμορφου μαγνήτη μοιάζει με το ..... πεδίο δύο σημειακών .....

### Πρακτική δραστηριότητα:



**Μπορείς να δώσεις μια οπτική αίσθηση του μαγνητικού πεδίου ενός ραβδόμορφου μαγνήτη αν διαθέτεις μόνο τον μαγνήτη και μια μικρή πυξίδα;**



**Τοποθέτησε τον ραβδόμορφο μαγνήτη** πάνω σε μια σελίδα και αποτύπωσε το σχήμα του στο χαρτί. Διατήρησε το χαρτί και τον μαγνήτη στη θέση αυτή για όλη την υπόλοιπη δραστηριότητα.

**Σημείωσε μία κουκκίδα** κοντά στο ένα άκρο του μαγνήτη.

**Τοποθέτησε την πυξίδα** έτσι ώστε η βελόνα της να είναι δίπλα στην κουκκίδα. Σημείωσε τη θέση της άλλης άκρης της βελόνας με μια δεύτερη κουκκίδα.

**Κίνησε την πυξίδα** έτσι ώστε η πρώτη άκρη της βελόνας να βρεθεί δίπλα στη δεύτερη κουκκίδα που έφτιαξες. Βάλε μια τρίτη κουκκίδα εκεί που βρίσκεται η δεύτερη άκρη της βελόνας.

**Συνέχισε** μέχρι να φτάσεις ξανά στον μαγνήτη ή στην άκρη του χαρτιού.

**Ένωσε τις κουκκίδες** με μία ομαλή γραμμή.

**Επανάλαβε** ξεκινώντας με μία κουκκίδα σε διαφορετικό σημείο δίπλα στον μαγνήτη.

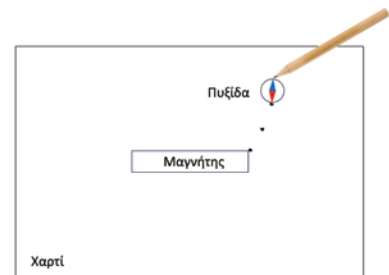
Συνέχισε έτσι ώστε να φτιάξεις συνολικά 10 γραμμές.



Οι γραμμές που ζωγράφισα δίνουν μια οπτική αίσθηση του ..... πεδίου, γύρω από τον ραβδόμορφο μαγνήτη.

Οι γραμμές είναι πιο πυκνές στους ....., όπου και οι μαγνητικές ..... είναι ισχυρότερες.

Το μαγνητικό πεδίο του ραβδόμορφου μαγνήτη μοιάζει με το ..... πεδίο δύο σημειακών .....



Εικόνα 2.1.14: Σχεδιάζοντας το μαγνητικό πεδίο ραβδόμορφου μαγνήτη.

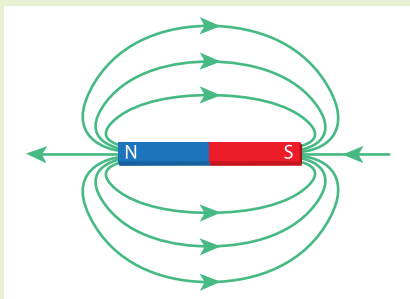


## Απεικόνιση Μαγνητικού Πεδίου

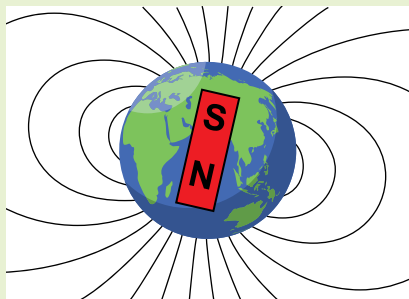
Σε αναλογία με τις **δυναμικές γραμμές** του ηλεκτρικού πεδίου, σχεδιάζουμε τις δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου.

Οι μαγνητικές δυναμικές γραμμές έχουν τις εξής ιδιότητες:

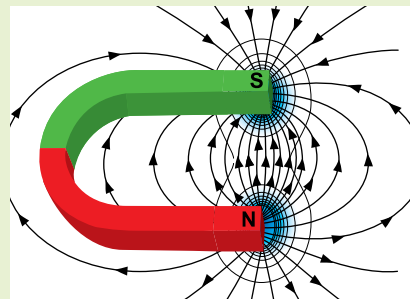
- Είναι πιο πυκνές εκεί που οι μαγνητικές δυνάμεις είναι ισχυρότερες.
- Μας δείχνουν την κατεύθυνση των δυνάμεων.
- Δεν τέμνονται μεταξύ τους.
- Ξεκινούν, κατά σύμβαση, από τον βόρειο πόλο και καταλήγουν στον νότιο πόλο.
- Σε αντίθεση με τις ηλεκτρικές δυναμικές γραμμές, είναι πάντοτε κλειστές



Εικόνα 2.1.15: Οι δυναμικές γραμμές γύρω από ραβδόμορφο μαγνήτη.



Εικόνα 2.1.16: Οι δυναμικές γραμμές γύρω από τη Γη.



Εικόνα 2.1.17: Οι δυναμικές γραμμές γύρω από πεταλοειδή μαγνήτη.

Το φυσικό μέγεθος που περιγράφει πόσο ισχυρό είναι το μαγνητικό πεδίο σε ένα σημείο του χώρου, αναφέρεται συχνά ως ένταση του μαγνητικού πεδίου. Επειδή όμως το όνομα “ένταση μαγνητικού πεδίου” έχει αποδοθεί και σε άλλο φυσικό μέγεθος στο εξής η αναφορά σε αυτό θα γίνεται απλά ως μαγνητικό πεδίο B.



## Διεπιστημονικές – Διαθεματικές Εφαρμογές της Θεωρίας, Γενίκευση, Εμπέδωση, Ερμηνείες με τον μικρόκοσμο

### 1. Αποθήκευση δεδομένων

Σε πολλές περιπτώσεις εκμεταλλευόμαστε τη δυνατότητα να μαγνητίζουμε ένα υλικό για να αποθηκεύουμε πληροφορίες σε αυτό. Μικροσκοπικοί μαγνήτες προσανατολίζονται κατάλληλα για να αποθηκευτούν πληροφορίες σε σκληρούς δίσκους υπολογιστών, χρωστικές/πιστωτικές κάρτες και άλλες μαγνητικές κάρτες (ξενοδοχείων, εκπτώτικες, κλειδαριών) κτλ.

Επίσης, η παρουσία ισχυρών μαγνητικών πεδίων μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια δεδομένων που αποθηκεύτηκαν με αυτόν τον τρόπο. Έτσι, όπου υπάρχουν τέτοια πεδία ειδοποιούμαστε με το σύμβολο της εικόνας 2.1.19.



Εικόνα 2.1.18:

Οι πληροφορίες στον σκληρό δίσκο αποθηκεύονται πάνω σε μαγνητικό υλικό.



Εικόνα 2.1.19:

Σύμβολο προειδοποίησης για ισχυρά μαγνητικά πεδία.

### 2. Ένα μαγνητόμετρο στο κινητό σου τηλέφωνο

Τα κινητά τηλέφωνα συνήθως διαθέτουν αισθητήρα μαγνητικού πεδίου (μαγνητόμετρο).

Για τη χρήση του υπάρχουν οι διάφορες εφαρμογές (Apps – Applications). Μία τέτοια είναι και το ελεύθερο λογισμικό Rhyphox (Φίφοξ = physical phone experiments). Αφού το εγκαταστήσεις σε κινητό ή tablet και δεις ότι η συσκευή σου διαθέτει αισθητήρα μαγνητικού πεδίου, μπορείς να μετρήσεις την ένταση του μαγνητικού πεδίου σε διάφορα σημεία γύρω από έναν μαγνήτη, συνήθως σε μονάδες  $1\mu\text{T}$  ( $=10^{-6}$  T, δηλαδή εκατομμυριοστά του Tesla) ή να βλέπεις σε διάγραμμα την ένταση του μαγνητικού πεδίου σε σχέση με τον χρόνο.



Εικόνα 2.1.20: Κινητό τηλέφωνο, όπου τρέχει το rhyphox.



Βίντεο 2.1.4: Χρήση του μαγνητόμετρου με το λογισμικό.

### 3. Οι μαγνητικοί πόλοι της Γης .... «κινούνται»

Το μαγνητικό πεδίο της Γης οφείλεται κατά κύριο λόγο στον εξωτερικό υγρό πυρήνα της. Συστηματική μελέτη του πεδίου άρχισε τον 17ο αιώνα αλλά οι μηχανισμοί δημιουργίας και συντήρησης του πεδίου δεν έχουν πλήρως ξεκαθαριστεί. Μάλιστα το γήινο μαγνητικό πεδίο μεταβάλλεται πάρα πολύ αργά με τον χρόνο. Οι γήινοι μαγνητικοί πόλοι «μετακινούνται». Κάθε 200.000 με 300.000 χρόνια αντιστρέφονται με μια πολύ αργή διαδικασία, που μπορεί να διαρκέσει

πάνω από 1000 χρόνια. Οι πληροφορίες σχετικά με τις μεταβολές αυτές βρίσκονται καταγεγραμμένες σε πετρώματα, ενώ για τα 10.000 τελευταία χρόνια βρίσκονται και σε αγγεία, κλιβάνους και γενικά δομές που περιέχουν ψημένη άργιλο. Σήμερα υπολογίζεται ότι οι μαγνητικοί πόλοι της Γης μετακινούνται με μια ταχύτητα περίπου στα 50 km τον χρόνο.

#### 4. Η ασπίδα προστασίας μας έναντι των ηλιακών καταιγίδων

Το γεωμαγνητικό πεδίο μας προστατεύει από καταιγισμό φορτισμένων σωματιδίων υψηλής ενέργειας, προερχόμενων από τον Ήλιο (ηλιακός άνεμος). Η εκπομπή σωματιδίων από τον Ήλιο γίνεται λόγω των ηλιακών εκλάμψεων που εκσφενδονίζουν τεράστιες ποσότητες υλικού στο διάστημα. Φορτισμένα σωματίδια, κινούμενα με πολύ μεγάλες ταχύτητες, φτάνουν στη Γη και θα αποτελούσαν κίνδυνο για την υγεία των ζωντανών οργανισμών αν δεν μας προστάτευε το μαγνητικό της πεδίο.



Ο ηλιακός άνεμος και το μαγνητικό πεδίο της Γης.



Εικόνα 2.1.21: Ηλιακή έκλαμψη και το σχετικό μέγεθος της Γης.

#### 1. Πλοήγηση στο μαγνητικό πεδίο

Με τη βοήθεια της πυξίδας μπορούμε να μετακινηθούμε με ασφάλεια από ένα σημείο σε ένα άλλο, εκμεταλλευόμενοι το μαγνητικό πεδίο της Γης. Υπάρχουν όμως ζωντανό οργανισμοί που δεν χρειάζονται τέτοια βοηθήματα για να το πετύχουν. Τα αποδημητικά πουλιά διανύουν τεράστιες αποστάσεις και φτάνουν στον προορισμό τους χωρίς να χαθούν. Οι φάλαινες του Ατλαντικού Ωκεανού κάθε άνοιξη πηγαίνουν βόρεια για να τραφούν. Αυτά είναι μερικά μόνο παραδείγματα ζώων που εκμεταλλεύονται το μαγνητικό πεδίο της Γης για να προσανατολιστούν κατά τη διάρκεια των ταξιδιών τους. Έχει βρεθεί μάλιστα ότι το πετυχαίνουν αυτό λόγω των μικροσκοπικών μαγνητικών βελόνων από μαγνητίτη που υπάρχουν μέσα στο κρανίο τους και που συνδέονται με πολυάριθμα νεύρα του εγκεφάλου τους.



Εικόνα 2.1.22: Πλοήγηση στο γήινο μαγνητικό πεδίο χωρίς GPS.

Εννοιολογικός Χάρτης



Ενότητας 2.1

#### Ερωτήσεις

##### 1. Αποφάσισε για καθεμιά από τις παρακάτω προτάσεις, εάν είναι σωστή ή λανθασμένη.

- |  |   |
|--|---|
| i. Όταν ένας μαγνήτης έλκει ένα αντικείμενο και το αντικείμενο έλκει τον μαγνήτη. <input type="checkbox"/>                 | v. Σπάζοντας έναν μαγνήτη στη μέση, καταφέρνουμε να πάρουμε δύο ξεχωριστούς πόλους (μονόπολα). <input type="checkbox"/>       |
| ii. Ένας μαγνήτης έλκει όλα τα μεταλλικά αντικείμενα. <input type="checkbox"/>   | vi. Μία καρφίτσα που έχει μαγνητιστεί έλκεται από μαγνήτες, αλλά δεν αλληλεπιδρά με άλλες καρφίτσες. <input type="checkbox"/> |
| iii. Η μεγαλύτερη μαγνητική επίδραση ενός ραβδόμορφου μαγνήτη ασκείται από τη μεσαία περιοχή του. <input type="checkbox"/> | vii. Η Γη, κοντά στον Βόρειο γεωγραφικό της πόλο, παρουσιάζει Βόρειο μαγνητικό πόλο. <input type="checkbox"/>                 |
| iv. Οι άκρες ενός μαγνήτη ονομάζονται πόλοι. <input type="checkbox"/>  | viii. Μία πυξίδα είναι ένας ελαφρύς μαγνήτης που μπορεί να στρέφεται ελεύθερα. <input type="checkbox"/>                       |

2. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένας μαγνήτης και στο πεδίο που δημιουργεί υπάρχουν τέσσερις μικρές μαγνητικές βελόνες. Μόνο μία είναι σχεδιασμένη σωστά. Μελέτησε το σχήμα και κύκλωσέ τη.




3. Να συμπληρώσεις τα κενά με τη σωστή λέξη ή φράση:

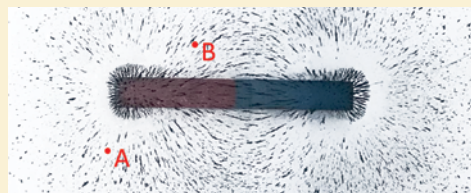
- i. Οι περιοχές του μαγνήτη στις οποίες εκδηλώνεται εντονότερα η μαγνητική επίδραση ονομάζονται ..... Κάθε μαγνήτης διαθέτει ..... οι οποίοι δεν είναι δυνατόν να ..... Ο ένας ονομάζεται ..... και ο άλλος .....
- ii. Δύο μαγνήτες με τους βόρειους πόλους τους σε κοντινή απόσταση ..... μεταξύ τους, ενώ δυο μαγνήτες με διαφορετικού είδους πόλους σε κοντινή απόσταση ..... μεταξύ τους.
- iii. Μπορούμε να φανταζόμαστε έναν μαγνήτη ότι αποτελείται από πολλούς ..... μαγνήτες, οι οποίοι είναι ..... και προκύπτει ένα συνολικό μαγνητικό αποτέλεσμα. Η εργασία που κάνουμε για να προκύψει αυτή η τάξη στο εσωτερικό ενός σιδερένιου αντικειμένου ονομάζεται ..... Βεβαίως εάν αυξηθεί πολύ η ..... είναι δυνατόν να πάψει το υλικό να συμπεριφέρεται ως μαγνήτης.
- iv. Γύρω από έναν μαγνήτη υπάρχει ..... Για να το απεικονίσουμε σχεδιάζουμε ενδεικτικά μερικές γραμμές που ονομάζονται ..... Αυτές είναι ..... γραμμές, με φορά από τον ..... προς τον ..... πόλο ενός μαγνήτη. Εκεί που είναι πυκνές το μαγνητικό πεδίο είναι πιο ..... απ' ό,τι εκεί που είναι αραιές.

### Ασκήσεις

- 1. Να προτείνεις έναν τρόπο ταυτοποίησης των πόλων ενός ραβδόμορφου ή πεταλοειδή μαγνήτη.
- 2. Ένα δοχείο με ρινίσματα σιδήρου πέφτει ανοικτό στην άμμο. Να βρεις έναν τρόπο για να μαζέψουμε τα ρινίσματα.

3. Σύμφωνα με το μοντέλο των στοιχειωδών (ατομικών – μοριακών) μαγνητών,

- i. να σχεδιάσεις το περίγραμμα μιας πρόκα και μερικούς στοιχειώδεις μαγνήτες της
  - ii. να προτείνεις έναν τρόπο μαγνήτισής της
  - iii. να ξανασχεδιάσεις την πρόκα και τους στοιχειώδεις μαγνήτες της, όταν έχει μαγνητιστεί
4. Στο παρακάτω σχήμα να σχεδιάσεις , όπως θα ισορροπήσει αν ο άξονας στήριξής της τοποθετηθεί: i) στο σημείο A, ii) στο σημείο B.



### Προβλήματα

- 1. Γιατί οι πυξίδες δεν δείχνουν σωστά τον Βόρειο Πόλο και τα αεροπλάνα που πηγαίνουν προς τα εκεί εμπιστεύονται μόνο τα συστήματα γεωεντοπισμού (Global Positioning System ή GPS); Ψάξε στο διαδίκτυο πληροφορίες για τον τρόπο λειτουργίας των GPS.
- 2. Το αλουμίνιο (Αργίλιο) είναι ένα ελαφρύ και πολύ ανθεκτικό υλικό. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο σήμερα οι πόρτες και τα παράθυρα των σπιτιών μας κατασκευάζονται σχεδόν αποκλειστικά από το υλικό αυτό. Γιατί όμως κάτι τέτοιο να μη συμβαίνει και με τα ψυγεία;
- 3. Η Ηλέκτρα ισχυρίζεται ότι όταν μια πυξίδα περνά τον Ισημερινό, στρέφεται κατά 180°. Ο Θालής όμως διαφωνεί. Μπορείς να γίνεις ο διαιτητής στη διαμάχη τους και να τους εξηγήσεις τι συμβαίνει στην πραγματικότητα;

Έλεγε τις γνώσεις σου



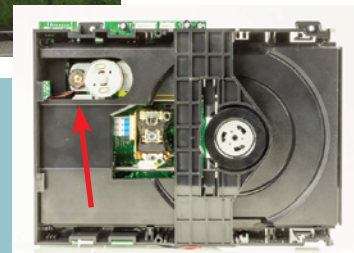
## 2.2 Ηλεκτρομαγνητισμός – Από τον ηλεκτρισμό στον μαγνητισμό

**Μετά από αυτή την ενότητα θα είσαι σε θέση να:**

1. διαπιστώνεις πειραματικά την ύπαρξη μαγνητικού πεδίου γύρω από ρευματοφόρο αγωγό
2. διαπιστώνεις πειραματικά την ύπαρξη της ηλεκτρομαγνητικής δύναμης (δύναμη Laplace) για ευθύγραμμο ρευματοφόρο αγωγό που βρίσκεται εντός ομογενούς μαγνητικού πεδίου
3. αναγνωρίζεις τη βασική αρχή λειτουργίας ηλεκτρικών κινητήρων



**Εικόνα 2.2.2:** Ηλεκτρομαγνητικός γερανός μεταφέρει σιδηροτροχιές.



**Εικόνα 2.2.3:** Κινητήρας σε CD player ηλεκτρονικού υπολογιστή, ο οποίος περιστρέφει το δισκάκι.



«Εἰς τὴν Φράντζαν ἔπεσε κεραυνός εἰς ἓνα σπίτι... καὶ ὄντας ἐκεῖ ἓνα σεντούκι με μαχαίρια καὶ πηρούνια, μερικά μεν ἀνέλυσαν, μερικά δε ἀπόκτησαν μιαν μαγνητικὴν δύναμιν ὅπου εσῆκωναν χοντρά καρφιά.»

Απόσπασμα από το βιβλίο «Φυσικὴς Ἀπάνθισμα» του Ρήγα Φερραίου.



**Εικόνα 2.2.1:** Το εξώφυλλο του βιβλίου.

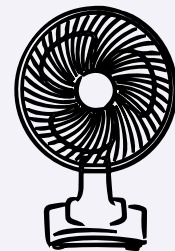


**Για τις δραστηριότητες της παραγράφου αυτής θα χρειαστούν:**

Μπαταρία 4,5 V ανοιγμένη, πεταλοειδής μαγνήτης, μαγνητική βελόνα σε βάση, καρφιά, μανταλάκια, συνδετήρες, μονωμένο καλώδιο, αιωρούμενο πηνίο, διακόπτης μπουτόν.

### Ας αναρωτηθούμε

1. Γιατί ο γερανός της εικόνας 2.2.2 χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνήτη και όχι μαγνήτη;
2. Γιατί εκτρέπεται η μαγνητική βελόνα όταν πλησιάζει σε ένα ηλεκτροφόρο καλώδιο;
3. Πώς περιστρέφεται ο ανεμιστήρας;
4. Πώς λειτουργεί το ηλεκτρικό κουδούνι;



**Εικόνα 2.2.4:** Ηλεκτρικός ανεμιστήρας.

## Το ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργεί μαγνητικό πεδίο

### Πρακτική δραστηριότητα:



Τα καλώδια είναι κατασκευασμένα από χαλκό. Συνεπώς δεν αλληλεπιδρούν με μαγνήτες. Συμβαίνει το ίδιο όμως όταν διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα;



**Τοποθέτησε μπροστά σου μια μαγνητική βελόνα.** Στήριξε ένα καλώδιο του εργαστηρίου με μανταλάκια, παράλληλα και πάνω από τη μαγνητική βελόνα, όπως στην εικόνα 2.2.5. Ακούμπησε τα άκρα του καλωδίου στους πόλους της μπαταρίας για μερικά δευτερόλεπτα. Τι παρατηρείς;

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Μόλις πραγματοποιήσες το πείραμα του Oersted (Έρστεντ). Αν υπάρχει αλληλεπίδραση της μαγνητικής βελόνας με το καλώδιο, τότε ή ο χαλκός μετατράπηκε σε σιδηρομαγνητικό υλικό (σίδηρος, νικέλιο ή κοβάλτιο) ή το καλώδιο έγινε μαγνήτης. Τι πιστεύεις ότι είναι δυνατόν να συνέβη;

.....

.....

.....

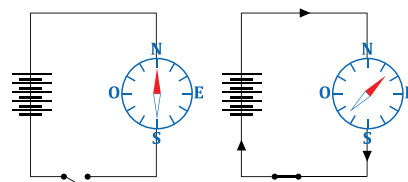
.....

.....

.....



Όταν ένα καλώδιο διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, η αρχικά ..... με αυτό μαγνητική βελόνα, προσανατολίζεται ..... στο καλώδιο. Συνεπώς γύρω από το ηλεκτροφόρο καλώδιο δημιουργήθηκε ..... πεδίο.



Εικόνα 2.2.5: Η μαγνητική βελόνα και το καλώδιο – σχηματική παράσταση του κυκλώματος.



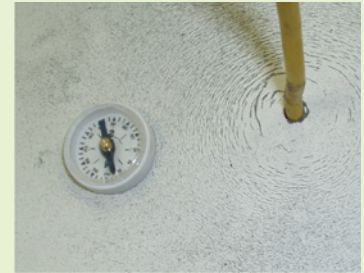
Βίντεο 2.2.1: Το πείραμα.





## Το μαγνητικό πεδίο ρευματοφόρου αγωγού

Το ηλεκτρικό ρεύμα, δηλαδή η προσανατολισμένη κίνηση φορτίων, δημιουργεί μαγνητικό πεδίο. Η μορφή του μαγνητικού πεδίου γύρω από ευθύγραμμο αγωγό φαίνεται στην εικόνα 2.2.6. Ας σημειώσουμε μάλιστα ότι στην περίπτωση αυτή, ηλεκτρική ενέργεια αποθηκεύεται ως ενέργεια μαγνητικού πεδίου και βέβαια είναι ουσιαστικά μορφή δυναμικής ενέργειας.



**Εικόνα 2.2.6:** Οι δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου είναι ομόκεντροι κύκλοι, με κέντρο τον ρευματοφόρο αγωγό και η πυξίδα προσανατολίζεται εφαπτομενικά στις δυναμικές γραμμές (Εικόνα Ε.Κ.Φ.Ε. Μεσσηνίας για το Science on Stage 2).

### Πρακτική δραστηριότητα:



**Πώς μπορείς να φτιάξεις σχετικά ισχυρό μαγνητικό πεδίο που να προκαλείται από ηλεκτρικό ρεύμα;**

.....

.....

.....

.....



**Τύλιξε ένα καλώδιο γύρω από ένα καρφί. Πλησίασε το καρφί σε συνδετήρες. Τι συμβαίνει;**

.....

...

.....

.....

.....

**Σύνδεσε το καλώδιο στην μπαταρία και πλησίασέ το πάλι σε συνδετήρες. Τι παρατηρείς τώρα;**

.....

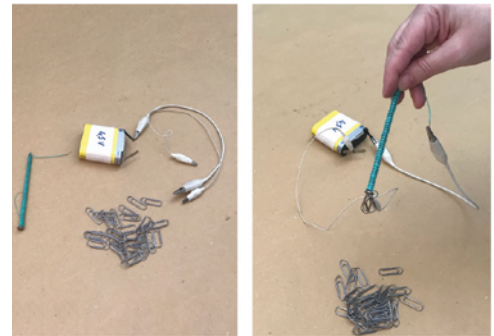
.....

.....

.....



**Όταν το καλώδιο διαρρέεται από ηλεκτρικό ....., το καρφί γίνεται ..... και ..... τους σιδερένιους συνδετήρες.**



**Εικόνα 2.2.7:** Το καρφί με το τυλιγμένο καλώδιο ανασηκώνει σιδερένιους συνδετήρες αν συνδεθεί με μπαταρία.

Πρόσεξε να τυλίγεις το καλώδιο έτσι ώστε να μην καβαλάει η μία σπείρα πάνω στην άλλη.

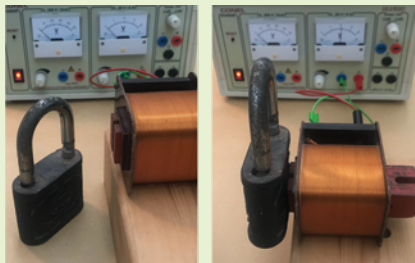


## Ο ηλεκτρομαγνήτης

Κάθε φορά που τυλίγουμε μια σπείρα γύρω από το καρφί, έχουμε έναν επιπλέον ρευματοφόρο αγωγό, ο οποίος παράγει μαγνητικό πεδίο. Το πλεονέκτημα του μαγνήτη που φτιάχνουμε με αυτόν τον τρόπο είναι ότι παύει να είναι μαγνήτης όταν δεν διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, γεγονός που οδηγεί σε μια σειρά εφαρμογών, όπως ο ηλεκτρομαγνητικός γερανός της εικόνας 2.2.2.

## Το πηνίο

Το τύλιγμα ενός καλωδίου σε σπείρες, γύρω από έναν σωλήνα, δημιουργεί μια διάταξη που ονομάζεται πηνίο (για την ακρίβεια, σωληνοειδές πηνίο) και παίρνει το όνομά του από το κυλινδρικό ξύλινο αντικείμενο, γύρω από το οποίο τύλιγαν το νήμα του αργαλειού τα παλιότερα χρόνια (η πήνη, υποκοριστικό το πηνίο).



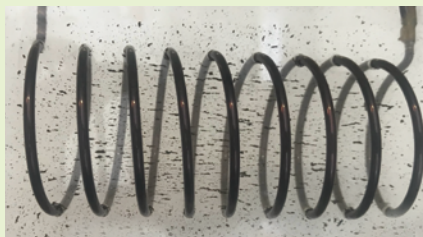
**Εικόνα 2.2.8:** Ένα πηνίο με 12.000 σπείρες και σιδερένιο πυρήνα μπορεί να δημιουργήσει έναν σχετικά ισχυρό ηλεκτρομαγνήτη με μία διαφορά δυναμικού 10 V. Ο ηλεκτρομαγνήτης είναι σε θέση να σηκώσει σιδερένιο λουκέτο 900g.



**Εικόνα 2.2.9:** Η Πηνελόπη στην Ιθάκη, στον αργαλειό της, κρατά στο χέρι το πηνίο.



**Εικόνα 2.2.10:** Πηνία του σχολικού εργαστηρίου.



**Εικόνα 2.2.11:** Το μαγνητικό πεδίο σωληνοειδούς.



Πώς λειτουργεί το ηλεκτρικό κουδούνι.



*Βίντεο 2.2.2:* Η διαδικασία της απεικόνισης του πεδίου σωληνοειδούς, με ρινίσματα σιδήρου, στο εργαστήριο.

## Η ηλεκτρομαγνητική δύναμη

### Πρακτική δραστηριότητα:



Τι θα συμβεί αν τροφοδοτηθεί με ηλεκτρικό ρεύμα αγωγός που βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο ενός μαγνήτη;

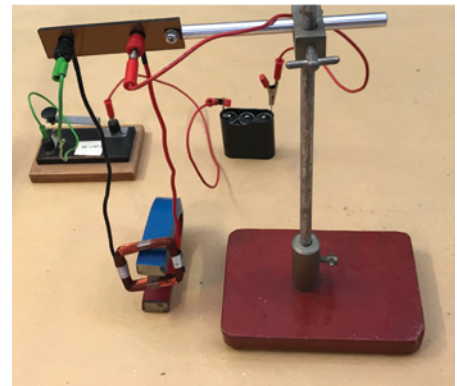


**Κρέμασε το αιωρούμενο πηνίο** έτσι ώστε να βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο του πεταλοειδούς μαγνήτη, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.2.12. Χρησιμοποίησε έναν διακόπτη μπουτόν, για να μπορείς να κλείνεις το κύκλωμα για μερικά δευτερόλεπτα ή απλά σύνδεσε το ένα καλώδιο με την μπαταρία και το άλλο άσε το ελεύθερο, έτσι ώστε να μπορείς να το ακουμπάς για λίγα δευτερόλεπτα στον άλλο πόλο της μπαταρίας. **Σύνδεσε** μόνο ένα από τα στοιχεία της μπαταρίας 4,5V και ζήτησε από τον/την καθηγητή/τρια να ελέγξει το κύκλωμα. Πάτησε τον διακόπτη για μερικά δευτερόλεπτα παρατηρώντας συγχρόνως το πηνίο. **Μετάβαλε** την τάση της πηγής από 1,5 ως 4,5V, συνδέοντας διαδοχικά στο κύκλωμα και άλλα στοιχεία της μπαταρίας. Γράψε τις παρατηρήσεις σου:

.....  
 .....  
 .....



Όσο ..... είναι η διαφορά δυναμικού στα άκρα του πηνίου, τόσο μεγαλύτερη είναι η ..... του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα, ενώ το πηνίο αναπηδά ..... . Άρα όσο μεγαλύτερη είναι η ..... του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο, τόσο μεγαλύτερη είναι η ..... που ασκείται σε αυτό από το μαγνητικό πεδίο.



Εικόνα 2.2.12: Ο αγωγός μέσα στο μαγνητικό πεδίο του πεταλοειδούς μαγνήτη.



Βίντεο 2.2.3: Το πείραμα.



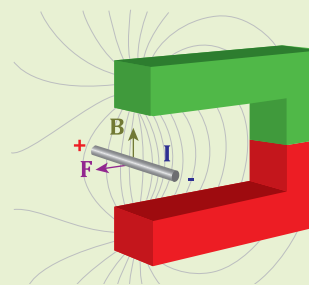
## Η ηλεκτρομαγνητική δύναμη

Γύρω από κάθε ρευματοφόρο αγωγό δημιουργείται μαγνητικό πεδίο, το οποίο αλληλεπιδρά με μαγνητικά πεδία που βρίσκονται στον χώρο γύρω του. Η αλληλεπίδραση αυτή ονομάζεται **ηλεκτρομαγνητική δύναμη** ή **δύναμη Laplace**.

Για τη δύναμη αυτή ισχύουν τα παρακάτω:

- Είναι ανάλογη του μαγνητικού πεδίου του μαγνήτη.
- Είναι ανάλογη του μήκους του αγωγού που βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο, άρα αυξάνεται με την αύξηση του αριθμού των σπειρών του πηνίου.
- Είναι ανάλογη της έντασης του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό.
- Η τιμή της εξαρτάται από τον προσανατολισμό του αγωγού μέσα στο μαγνητικό πεδίο. Είναι μηδέν όταν ο αγωγός είναι παράλληλος στις δυναμικές γραμμές και μέγιστη όταν ο αγωγός είναι κάθετος σε αυτές.

Σε κάθε άλλη περίπτωση παίρνει ενδιάμεσες τιμές.



Εικόνα 2.2.13: Η δύναμη Laplace.



Η μονάδα μάζας στο Διεθνές Σύστημα

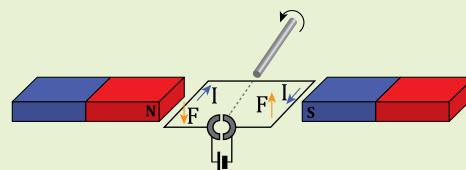
Βίντεο 2.2.4: Ζυγός μάζας.



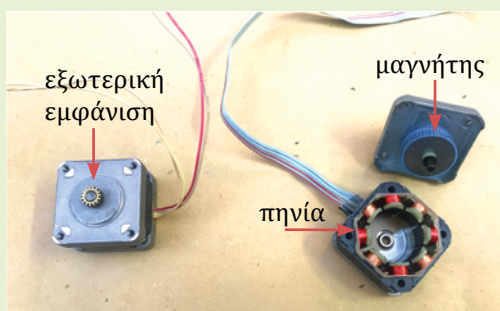
## Ο ηλεκτροκινητήρας

Ηλεκτροκινητήρες είναι οι διατάξεις που μεταμορφώνουν την ηλεκτρική ενέργεια σε κινητική. Μια πληθώρα ηλεκτρικών συσκευών στηρίζουν τη λειτουργία τους στην ύπαρξη ηλεκτροκινητήρων. Το CD player της εικόνας 2.2.4, ο ανεμιστήρας της εικόνας 2.2.5 αλλά και άλλες ανθρώπινες κατασκευές, από τα μίξερ ως τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία συσκευών.

Η λειτουργία των ηλεκτρικών κινητήρων βασίζεται στην αλληλεπίδραση του ηλεκτρικού ρεύματος με το μαγνητικό πεδίο. Ένα πηνίο με πολλές σπείρες βρίσκεται μέσα στο πεδίο ενός μαγνήτη. Καθώς το πηνίο διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, αλληλεπιδρά με το μαγνητικό πεδίο και περιστρέφεται.



Εικόνα 2.2.14: Η λειτουργία του ηλεκτρικού κινητήρα.



(α)



(β)

Εικόνα 2.2.15: (α) ηλεκτρικός κινητήρας, όπου φαίνεται το εξωτερικό του και (β) ηλεκτρικός κινητήρας του σχολικού εργαστηρίου.



## Διεπιστημονικές – Διαθεματικές Εφαρμογές της Θεωρίας, Γενίκευση, Εμπέδωση, Ερμηνείες με τον μικρόκοσμο

### 1. Το πείραμα του Oersted

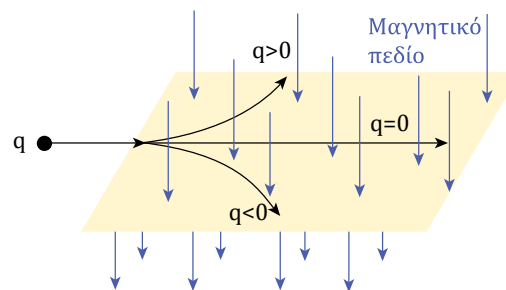
Ο Δανός φυσικός και χημικός Hans Christian Oersted (Χανς Κρίστιαν Έρστεντ) ή Ørsted, όπως γράφεται στα δανικά, είναι γνωστός για το περίφημο πείραμά του που οδήγησε στην ενοποίηση ηλεκτρισμού και μαγνητισμού, ώστε σήμερα να μιλάμε για ηλεκτρομαγνητισμό. Πίσω στο 1820, καθώς ετοιμάζε ένα πείραμα για τους φοιτητές του στο Πανεπιστήμιο της Κοπεγχάγης, η βελόνα μιας πυξίδας απέκλινε από τον μαγνητικό βορρά όταν ηλεκτρικό ρεύμα έρεε ή σταματούσε σε ένα καλώδιο κοντά στη βελόνα. Αυτή η στροφή της βελόνας τον έπεισε ότι σε όλες τις πλευρές ενός σύρματος που μεταφέρει ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργούνται μαγνητικά πεδία. Εκείνη την εποχή ο Oersted δεν πρότεινε κάποια ικανοποιητική εξήγηση για το φαινόμενο, ούτε και προσπάθησε να το αναπαραστήσει ποσοτικά-μαθηματικά. Ωστόσο, τρεις μήνες αργότερα άρχισε συστηματικότερες έρευνες και σύντομα δημοσίευσε τα αποτελέσματα των ερευνών του.



Εικόνα 2.2.16: Ο Hans Christian Oersted πλησιάζει ένα ηλεκτροφόρο καλώδιο πάνω από μια μαγνητική βελόνα.

### 2. Η δύναμη Lorentz

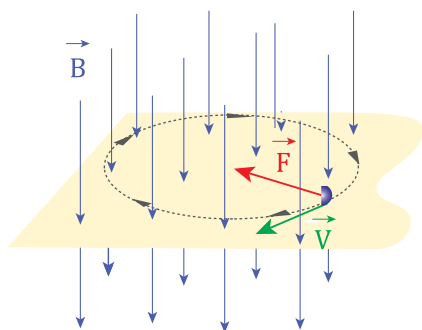
Γνωρίζουμε ότι το ηλεκτρικό ρεύμα είναι προσανατολισμένη κίνηση φορτίων. Αν όμως έχουμε ένα μόνο φορτισμένο σωματίδιο που κινείται, θα έχουμε και πάλι κίνηση φορτίου προς μία κατεύθυνση, άρα ηλεκτρικό ρεύμα. Οπότε γύρω από το φορτίο δημιουργείται μαγνητικό πεδίο που αλληλεπιδρά με κάθε εξωτερικό μαγνητικό πεδίο και δέχεται δύναμη από αυτό. Η δύναμη αυτή ονομάζεται δύναμη Lorentz.



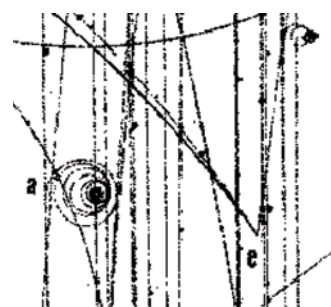
Εικόνα 2.2.17: Η κίνηση ενός φορτισμένου σωματιδίου σε μαγνητικό πεδίο.

### 3. Επιταχυντές

Στην παράγραφο 1.1.3 μιλήσαμε για το CERN και τους επιταχυντές φορτισμένων σωματιδίων. Πώς όμως γίνεται η ανίχνευση των σωματιδίων που προκύπτουν από τις συγκρούσεις; Πρώτα πρέπει τα σωματίδια να αφήσουν κάποια ίχνη για να τα εντοπίσουμε και στη συνέχεια αναλύοντας τα ίχνη και τις τροχιές τους να τα ταυτοποιήσουμε. Ένας από τους τρόπους ανίχνευσης των φορτισμένων σωματιδίων είναι με τη χρήση του θαλάμου φυσαλίδων (Bubble Chambers). Τα σωματίδια οδηγούνται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο όπου αφήνουν ίχνη φυσαλίδων σε ένα υγρό (εικόνα 2.2.19). Σήμερα όμως,



Εικόνα 2.2.18: Η δύναμη Lorentz σε φορτισμένο σωματίδιο το κάνει να περιστραφεί.

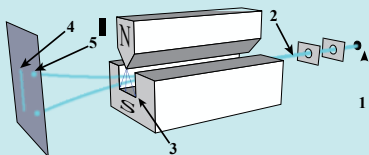


Εικόνα 2.2.19: Φωτογραφία από θάλαμο φυσαλίδων CERN.

οι περισσότεροι ανιχνευτές δεν καθιστούν άμεσα ορατές τις τροχιές των σωματιδίων. Αντί γι' αυτό, παράγουν ασθενή ηλεκτρικά σήματα που καταγράφονται σε υπολογιστή. Κατόπιν, ένα λογισμικό οπτικοποιεί την τροχιά που καταγράφηκε στον ανιχνευτή (εικόνα 1.3.33).

#### 4. Το spin του ηλεκτρονίου

Το 1912 οι Otto Stern (Ότο Στερν) και Walter Gerlach (Γουόλτερ Γκέρλαχ) πραγματοποίησαν ένα πείραμα γνωστό ως «πείραμα Stern-Gerlach», με το οποίο απέδειξαν ότι τα ηλεκτρόνια εμφανίζουν μια «παράξενη» μαγνητική ιδιότητα. Εκτοξεύοντας ηλεκτρόνια μέσα σε ανομοιογενές μαγνητικό πεδίο, τα ηλεκτρόνια παρεκκλίνουν από την ευθύγραμμη πορεία τους, απόδειξη ότι έχουν μαγνητικές ιδιότητες. Ενώ όμως στην κλασική Φυσική θα περίμενε κανείς τα ηλεκτρόνια να βγουν από το πεδίο σε τυχαίες θέσεις, αυτό που πραγματικά παρατηρήθηκε ήταν τα ηλεκτρόνια να βγαίνουν από το πεδίο σε δύο διακριτές θέσεις. Αυτό οδήγησε στην εισαγωγή του spin, το οποίο, όπως γνωρίζουμε σήμερα, είναι μια κβαντική ιδιότητα, χωρίς αναλογία στην κλασική Φυσική. Τα ηλεκτρόνια έχουν spin  $+1/2$  ή  $-1/2$ .

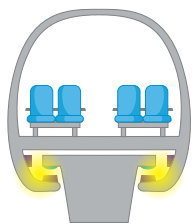


**Πείραμα Stern Gerlach:**

[https://en.wikipedia.org/wiki/Stern-Gerlach\\_experiment](https://en.wikipedia.org/wiki/Stern-Gerlach_experiment)

#### 5. Μαγνητικά τρένα

Είναι τρένα που χρησιμοποιούν τεχνολογία μαγνητικής αιώρησης και κινούνται με ταχύτητα 350 έως 500 χιλιομέτρων την ώρα ενώ βρίσκονται υψωμένα ελάχιστα πάνω από τις ράγες τους, με αποτέλεσμα να ελαχιστοποιούνται οι τριβές. Στο κάτω μέρος των βαγονιών υπάρχουν ηλεκτρομαγνήτες. Αυτοί συνδυάζονται με ηλεκτρομαγνήτες οι οποίοι βρίσκονται στις ράγες και το ανυψώνουν



**Εικόνα 2.2.21:**  
Οι ηλεκτρομαγνήτες κάτω από το τρένο.

κατά ένα εκατοστό περίπου. Ο κεντρικός σταθμός ελέγχου παρέχει ρεύμα τμηματικά στη γραμμή, μόνο τη στιγμή κατά την οποία το τρένο περνάει πάνω από το συγκεκριμένο τμήμα, με σκοπό την επίτευξη εξοικονόμησης ενέργειας. Τα μαγνητικά τρένα δεν εκπέμπουν καυσαέρια και δεν παράγουν θόρυβο. Παρά τις υψηλές τους ταχύτητες είναι απίστευτα ασφαλή. Δεν διαθέτουν και δεν είναι αναγκαίες οι ζώνες ασφαλείας, ενώ επιτρέπεται στους επιβάτες να μετακινούνται ελεύθεροι μέσα στο τρένο κατά τη διάρκεια του ταξιδιού.



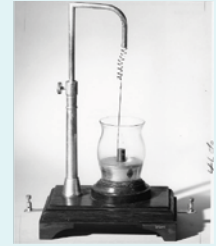
**Εικόνα 2.2.20:**  
Μαγνητικά τρένα στην Ιαπωνία.

#### 1. Κβαντικοί υπολογιστές

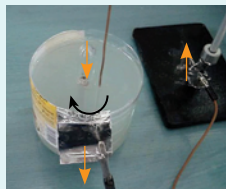
Η λειτουργία των υπολογιστών βασίζεται στο δυαδικό σύστημα αρίθμησης. Κάθε πληροφορία μεταφέρεται με μια σειρά από μηδέν και ένα. Αν έχουμε ένα καλώδιο που διαρρέεται από ρεύμα, τότε αυτό αναπαριστά τον αριθμό 1. Αν δεν διαρρέεται από ρεύμα, αναπαριστά τον αριθμό 0. Με περισσότερα καλώδια, μπορούν να παρασταθούν περισσότερα 0 ή 1 και τελικά σύνθετες πληροφορίες. Αυτό ακριβώς συμβαίνει με τον υπολογιστή στον οποίο γράφτηκε το βιβλίο που κρατάς στα χέρια σου. Σήμερα όμως βρίσκονται, σε πειραματικό για την ώρα στάδιο, οι κβαντικοί υπολογιστές, οι οποίοι αναμένεται να είναι πολύ ταχύτεροι από τους κλασικούς. Αντί να βασίζονται στις δύο καταστάσεις του ηλεκτρικού ρεύματος (περνά - δεν περνά), βασίζονται στις δύο καταστάσεις του spin ( $+1/2$  και  $-1/2$ ).

## 2. Ο πρώτος ηλεκτρικός κινητήρας

Ο πρώτος ηλεκτρικός κινητήρας κατασκευάστηκε από τον Faraday το 1821. Στο κέντρο ενός δοχείου με υδράργυρο, στήριξε έναν μαγνήτη. Ανάρτησε από ράβδο ένα σύρμα, του οποίου το ένα άκρο βύθισε στον υδράργυρο. Συνδέοντας με πηγή ηλεκτρικού ρεύματος το καλώδιο και τον υδράργυρο το κύκλωμα έκλεινε, καθώς ο υδράργυρος είναι μέταλλο, αλλά και το καλώδιο μπορούσε να κινηθεί μέσα σε αυτόν, καθώς είναι υγρός σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Το αποτέλεσμα ήταν το καλώδιο να αρχίσει να περιστρέφεται γύρω από τον μαγνήτη. Ο πρώτος ηλεκτρικός κινητήρας της ανθρωπότητας ήταν γεγονός. Μπορείς κι εσύ να φτιάξεις έναν τέτοιο κινητήρα. Δεν θα χρησιμοποιήσεις υδράργυρο που είναι τοξικός και απαγορεύεται η πώλησή του, αλλά πυκνό αλατόνερο.



Εικόνα 2.2.22: Η διάταξη του Faraday.



Εικόνα 2.2.23: Η διάταξη του Faraday με απλά υλικά.

Για να δουλέψει όμως η συσκευή θα χρειαστείς έναν κυλινδρικό μαγνήτη νεοδυμίου, ο οποίος είναι πολύ ισχυρός. Επίσης, καλό είναι να τον τοποθετήσεις μέσα σε έναν δοκιμαστικό σωλήνα με πώμα για να μην καταστραφεί. Εφάρμοσε μια διαφορά δυναμικού 9-12 V και ο κινητήρας θα δουλέψει μια χαρά. Είναι η διάταξη που φαίνεται στην εικόνα 2.2.23 και μπορείς να τη δεις σε λειτουργία στο βίντεο 2.2.5.



Βίντεο 2.2.5: Η διάταξη της εικόνας 2.2.23 σε λειτουργία.

## 3. Ο πιο απλός κινητήρας

Μπορείς εύκολα να κατασκευάσεις έναν απλό ηλεκτρικό κινητήρα ακολουθώντας τις οδηγίες στο βίντεο 2.2.6.



Εικόνα 2.2.24: Ένας απλός ηλεκτρικός κινητήρας.

Βίντεο 2.2.6: Η κατασκευή ενός απλού κινητήρα.



## 4. Γιατί το φορτίο στον κεραυνό δεν σκορπίζει;

Έχεις αναρωτηθεί γιατί ο κεραυνός ή η αστραπή δεν σκορπίζουν παρότι αποτελούνται από όμοια φορτία; Μα φυσικά γιατί αυτά τα φορτία τρέχουν! Ένα κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο παράγει γύρω του μαγνητικό πεδίο. Το μαγνητικό πεδίο αλληλεπιδρά με τα γειτονικά φορτία με δυνάμεις Laplace, οι οποίες είναι ελκτικές σε αυτήν την περίπτωση. Έτσι όχι μόνο δεν σκορπίζουν αλλά η ενέργεια που μεταφέρουν είναι τόσο μεγάλη που μπορεί να αποδειχθεί και καταστροφική.

## 5. 1821 André Marie Ampère

Βασιζόμενος στη διαίσθησή του δηλώνει... «Αφού τα κινούμενα φορτία δημιουργούν μαγνητισμό, θα πρέπει ο μαγνητισμός, που οφείλεται σε έναν μαγνήτη, να οφείλεται σε μικροσκοπικά ρεύματα μέσα στη μάζα του υλικού του μαγνήτη». Η πρόταση αυτή, όπως γνωρίζουμε σήμερα, περιλαμβάνει όλη την αλήθεια για τη φύση του μαγνητισμού!

Εννοιολογικός Χάρτης



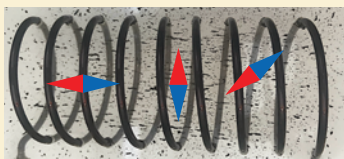
Ενότητας 2.2

### Ερωτήσεις

**1. Αποφάσισε για καθεμιά από τις παρακάτω προτάσεις, εάν είναι σωστή ή λανθασμένη.**

- i. Ο ηλεκτρισμός και ο μαγνητισμός είναι δύο κλάδοι της Φυσικής ανεξάρτητοι μεταξύ τους.
- ii. Όταν ένας αγωγός διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, γύρω του δημιουργείται μαγνητικό πεδίο.
- iii. Όταν ένα σωληνοειδές πηνίο διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, στο εσωτερικό του δημιουργείται ομογενές μαγνητικό πεδίο.
- iv. Ένα κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο δημιουργεί μόνο μαγνητικό πεδίο.
- v. Ένα κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο δημιουργεί μόνο ηλεκτρικό πεδίο.
- vi. Ένα κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο δημιουργεί ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο.
- vii. Οι μαγνήτες αλληλεπιδρούν με κινούμενα ηλεκτρικά φορτία.
- viii. Οι μαγνήτες αλληλεπιδρούν με ακίνητα ηλεκτρικά φορτία.

**2. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένα σωληνοειδές πηνίο, το οποίο διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα. Στο πεδίο που δημιουργείται στο εσωτερικό του υπάρχουν τρεις μικρές μαγνητικές βελόνες. Μόνο μία είναι σχεδιασμένη σωστά. Μελέτησε το σχήμα και κύκλωσέ τη.**



**3. Να συμπληρώσεις τα κενά με τη σωστή λέξη ή φράση:**

- α) Όταν ένας αγωγός διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, ..... με μαγνήτες που βρίσκονται κοντά του.
- β) Στο εσωτερικό σωληνοειδούς πηνίου, οι δυναμικές γραμμές του ..... πεδίου είναι ..... μεταξύ τους.
- γ) Η ηλεκτρομαγνητική δύναμη είναι ..... του μαγνητικού πεδίου του μαγνήτη, είναι ..... του μήκους του αγωγού που βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο, είναι ..... της έντασης του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό και η τιμή της εξαρτάται από τον

..... του αγωγού μέσα στο μαγνητικό πεδίο.

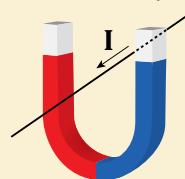
δ) Η λειτουργία των ηλεκτρικών κινητήρων βασίζεται στην αλληλεπίδραση του ..... ρεύματος με το ..... πεδίο. Ένα πηνίο με πολλές σπείρες βρίσκεται μέσα στο πεδίο ενός μαγνήτη. Καθώς το πηνίο διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, αλληλεπιδρά με το μαγνητικό πεδίο και .....

### Ασκήσεις

1. Να προτείνεις όσους περισσότερους τρόπους μπορείς για να αυξηθεί η ηλεκτρομαγνητική δύναμη που δέχεται ένας ρευματοφόρος αγωγός από το μαγνητικό πεδίο ενός μαγνήτη.
2. Διάβασε την πρόταση που ακολουθεί. Είναι σωστή ή λανθασμένη και για ποιον λόγο; «Τα μαγνητικά τρένα πετυχαίνουν υψηλές ταχύτητες γιατί δεν ακουμπούν στις ράγες τους».
3. Δύο φορτισμένα σωματίδια εκτοξεύονται σε μαγνητικό πεδίο κάθετο στη διεύθυνση κίνησής τους. Αν τα σωματίδια εκτραπούν σε αντίθετες κατευθύνσεις, τι συμπέρασμα βγάζεις για το είδος του φορτίου τους;

### Προβλήματα

1. Πεταλοειδής μαγνήτης είναι τοποθετημένος με τα σκέλη προς τα πάνω. Ρευματοφόρος αγωγός, βάρους 0,1 N ισορροπεί μέσα στο μαγνητικό πεδίο του μαγνήτη. Πόση είναι η ηλεκτρομαγνητική δύναμη που δέχεται ο αγωγός;



2. Δύο παράλληλοι ρευματοφόροι αγωγοί ασκούν δύναμη ο ένας στον άλλο;
3. Καθεμιά από τις παρακάτω συσκευές διαθέτει ηλεκτρικό κινητήρα. Πού χρησιμεύει σε κάθε περίπτωση; Πιστολάκι μαλλιών, απορροφητήρας, ψυγείο, ανεμιστήρας, φούρνος ηλεκτρικής κουζίνας, παιδικό αυτοκινητάκι, ηλεκτρικό αυτοκίνητο, υβριδικό αυτοκίνητο.

## 2.3 Ηλεκτρομαγνητισμός

### Από τον μαγνητισμό στον ηλεκτρισμό – Νόμος Faraday – Ηλεκτρομαγνητική Επαγωγή

Εικόνα 2.3.1: Το πηνίο Tesla σε λειτουργία.



#### Μετά από αυτή την ενότητα θα είσαι σε θέση να:

1. διαπιστώνεις πειραματικά τη δυνατότητα δημιουργίας ηλεκτρικού πεδίου από μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο (πειράματα Faraday).
2. αναγνωρίζεις ποιοτικά τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η Η/Μ επαγωγή.
3. αναγνωρίζεις τη βασική αρχή λειτουργίας των ηλεκτρικών γεννητριών.



Για τις δραστηριότητες της παραγράφου αυτής θα χρειαστούν:

Γαλβανόμετρο μηδενός, ραβδόμορφος μαγνήτης, πηνία 300 και 600 σπειρών, σύρμα περιέλιξης διαμέτρου 0,25mm (περίπου), 2 κόκκινα led, πλαστικός δοκιμαστικός σωλήνας με πώμα, κυλινδρικός μαγνήτης νεοδυμίου με διάμετρο λίγο μικρότερη από του σωλήνα, βαμβάκι.



Βίντεο 2.3.1: Επίδειξη της λειτουργίας του πηνίου Tesla.



Ο Νικόλα Τεσλα πίστευε ότι η ενέργεια είναι αγαθό που όφειλε να είναι ελεύθερο στους ανθρώπους. Έτσι κατασκεύασε το ομώνυμο πηνίο με σκοπό να διαθέτει ηλεκτρική ενέργεια στους πολίτες δωρεάν και από απόσταση.



Εικόνα 2.3.2: Χειροκίνητος φακός.



Εικόνα 2.3.3: Δύο Led συνδεδεμένα σε πηνίο ανάβουν πλησιάζοντας και απομακρύνοντας έναν μαγνήτη.



Βίντεο 2.3.2: Επίδειξη της λειτουργίας χειροκίνητου φακού.



Βίντεο 2.3.3: Επίδειξη των δύο Led, που συνδεδεμένα σε πηνίο ανάβουν πλησιάζοντας και απομακρύνοντας έναν μαγνήτη.



## Ας αναρωτηθούμε



1. Τι κοινό υπάρχει στα παραπάνω φαινόμενα των εικόνων 2.3.1, 2.3.2 και 2.3.3;
2. Πώς λειτουργεί το δυναμό του ποδηλάτου;
3. Γιατί σήμερα δεν χρησιμοποιούμε δυναμό αλλά φωτάκια led με μπαταρία;



Εικόνα 2.3.4: Δυναμό ποδηλάτου.

## Η ηλεκτρομαγνητική επαγωγή

### Πειραματική δραστηριότητα:



Από την προηγούμενη ενότητα γνωρίζεις ότι το ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργεί μαγνητικό πεδίο.



Στο σχολικό εργαστήριο υπάρχουν όργανα τα οποία ονομάζονται γαλβανόμετρα (εικόνα 2.3.5) και είναι σε θέση να μετρούν πολύ μικρές διαφορές δυναμικού ή πολύ μικρά ηλεκτρικά ρεύματα.

**Σύνδεσε ένα γαλβανόμετρο με ένα πηνίο 600 σπειρών, όπως δείχνει η εικόνα 2.3.6.**

**Βάλε τον έναν ραβδόμορφο μαγνήτη μέσα στο πηνίο. Τι παρατηρείς στο γαλβανόμετρο όσο διαρκεί η κίνηση του χεριού σου;**

.....

.....

**Άφησε τον μαγνήτη μέσα στο πηνίο. Τι συμβαίνει τώρα;**

.....

.....

**Τράβηξε τον μαγνήτη από το πηνίο. Τι βλέπεις στο γαλβανόμετρο;**

.....

.....

**Κίνησε τον μαγνήτη μέσα – έξω στο πηνίο και παρατήρησε τον δείκτη του γαλβανόμετρου.**



Εικόνα 2.3.5: Γαλβανόμετρα σχολικού εργαστηρίου.



Εικόνα 2.3.6: Γαλβανόμετρο συνδεδεμένο με πηνίο.

**Κίνησε μέσα - έξω τον μαγνήτη**, με μεγαλύτερη ταχύτητα. Βλέπεις κάτι διαφορετικό;

.....

.....

**Επανάλαβε το πείραμα** με τον ραβδόμορφο μαγνήτη και έναν ισχυρότερο μαγνήτη. Προσπάθησε να τους κινήσεις μέσα - έξω, με την ίδια περίπου ταχύτητα. Σημείωσε τις παρατηρήσεις σου.

.....

.....

**Επανάλαβε μια τρίτη φορά** το πείραμα, χρησιμοποιώντας τον ραβδόμορφο μαγνήτη και δύο πηνία 300 και 600 σπειρών, τα οποία θα συνδέσεις διαδοχικά στο κύκλωμα. Προσπάθησε να κινήσεις μέσα - έξω, με την ίδια περίπου ταχύτητα τον μαγνήτη, κάθε φορά. Τι συμβαίνει όταν αυξάνεται ο αριθμός των σπειρών του πηνίου;

.....

.....



Πλησιάζοντας τον μαγνήτη στο πηνίο, ο δείκτης του γαλβανόμετρου ..... προς τη μία κατεύθυνση, ενώ όταν ....., προς την άλλη. Αυτό σημαίνει ότι το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται στις δύο περιπτώσεις έχει ..... φορά.

Όταν ο μαγνήτης είναι ακίνητος μέσα στο πηνίο, ο αριθμός των αόρατων μαγνητικών γραμμών μέσα στο πηνίο δεν ..... . Όσο πιο γρήγορα κινείται ο μαγνήτης μέσα-έξω στο πηνίο, τόσο πιο γρήγορα ..... και ο αριθμός των μαγνητικών γραμμών ..... στο πηνίο. Επίσης, τόσο πιο έντονα κινείται ο δείκτης του ....., φανερώνοντας ότι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που παράχθηκε είναι .....

Όσο πιο ισχυρός είναι ο μαγνήτης, τόσο ..... είναι η μεταβολή των αόρατων μαγνητικών γραμμών, όταν μπαίνει και βγαίνει στο πηνίο. Ταυτόχρονα ο δείκτης του γαλβανόμετρου φανερώνει ότι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που παράχθηκε είναι μεγαλύτερη όταν χρησιμοποιείται ..... μαγνήτης.

Όταν χρησιμοποιούνται πηνία με περισσότερες σπείρες είναι σαν να υπάρχουν ..... αγωγοί μέσα από τους οποίους αλλάζει ο αριθμός των μαγνητικών γραμμών. Ο δείκτης του γαλβανόμετρου φανερώνει ότι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που παράχθηκε είναι ..... όταν χρησιμοποιείται πηνίο με περισσότερες σπείρες.



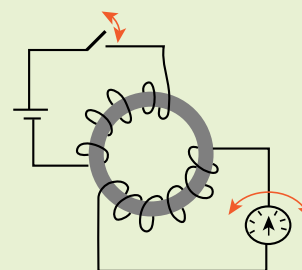
Βίντεο 2.3.4: Το πείραμα.



## Ηλεκτρομαγνητική επαγωγή

Μετά την κατασκευή του πρώτου ηλεκτροκινητήρα, ο Faraday βασανιζόταν από το ερώτημα: Εφόσον το ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργεί μαγνητικό πεδίο, μπορεί αντίστοιχα το μαγνητικό πεδίο να δημιουργήσει ηλεκτρικό ρεύμα;

Στις 29 Αυγούστου 1831 κατάφερε να αποδείξει πειραματικά ότι πράγματι κάτι τέτοιο μπορεί να συμβεί, χρησιμοποιώντας έναν σιδερένιο δακτύλιο διαμέτρου 15 cm, γύρω από τον οποίο τύλιξε δύο πηνία από χάλκινο σύρμα. Η εικόνα 2.3.7 δείχνει το κύκλωμα της διάταξης του Faraday. Όταν έκλεινε (ή άνοιγε) ο διακόπτης, περνούσε (ή διακοπτόταν) το ηλεκτρικό ρεύμα στο πρώτο πηνίο, με αποτέλεσμα τη μεταβολή του αριθμού των μαγνητικών γραμμών στο εσωτερικό του και στο εσωτερικό του



Εικόνα 2.3.7: Ο δακτύλιος του Faraday με τα δύο πηνία και το γαλβανόμετρο.

δεύτερου πηνίου, αλλά και τη δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος που κατέγραφε το γαλβανόμετρο. Το φαινόμενο ονομάστηκε *ηλεκτρομαγνητική επαγωγή*. Δηλαδή, η μεταβολή του μαγνητικού πεδίου μέσα σε ένα πηνίο, δημιουργεί διαφορά δυναμικού στα άκρα του (επαγωγική τάση), η οποία με τη σειρά της δημιουργεί ηλεκτρικό ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα (επαγωγικό ρεύμα).

Σε μια εποχή που οι επικοινωνίες ήταν πολύ δύσκολες, παράλληλα με τον Faraday, στην άλλη όχθη του Ατλαντικού Ωκεανού, ο Αμερικανός Joseph Henry (Τζόζεφ Χένρι) κατέληξε στα ίδια ακριβώς συμπεράσματα. Επειδή δεν διέθετε μονωμένο καλώδιο τύλιξε μόνος του χάλκινο σύρμα με λωρίδες υφάσματος από το νυφικό φόρεμα της συζύγου του. Τελικά καθυστέρησε να δημοσιοποιήσει τις μελέτες του και η ανακάλυψη της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής κατοχυρώθηκε μόνο στον Faraday. Όμως η επιστημονική κοινότητα, γνωρίζοντας τη σπουδαιότητα της εργασίας τους, τιμά εξίσου και τους δύο.



## Ο νόμος του Faraday

<https://www.youtube.com/watch?v=txmKr69jGBk&t=6s>

Βίντεο 2.3.5: Μια ξενάγηση στο εργαστήριο του Faraday και περιγραφή του πειράματός του.

Οι παρακάτω προτάσεις περιγράφουν τον νόμο του Faraday για την ηλεκτρομαγνητική επαγωγή.

- Η επαγωγική τάση αυξάνεται όσο γρηγορότερα κινείται ο μαγνήτης μέσα-έξω στο πηνίο, γιατί το μαγνητικό πεδίο μεταβάλλεται γρηγορότερα.
- Η επαγωγική τάση αυξάνεται όσο ισχυρότερος είναι ο μαγνήτης που χρησιμοποιούμε γιατί είναι μεγαλύτερη η μεταβολή του μαγνητικού πεδίου όταν ο μαγνήτης μπαίνει ή βγαίνει από το πηνίο.
- Η επαγωγική τάση αυξάνεται όσο αυξάνεται ο αριθμός των σπειρών του πηνίου, επειδή προστίθενται οι επαγωγικές τάσεις κάθε σπείρας.

Φυσικά αντί για μαγνήτη μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και ηλεκτρομαγνήτη. Μην ξεχνάς ότι ο Faraday με ηλεκτρομαγνήτη έκανε τα πειράματά του.

## Η ηλεκτρική γεννήτρια

**Πρακτική δραστηριότητα:**



Τι κάνει μια ηλεκτρική γεννήτρια; Μπορείς να φτιάξεις μια τέτοια;





**Τύλιξε** γύρω από έναν πλαστικό δοκιμαστικό σωλήνα με πώμα περίπου 300 σπείρες σύρματος περιέλιξης διαμέτρου 0,25 mm (περίπου).

**Αφαίρεσε το βερνίκι** της μόνωσης στις δύο άκρες του σύρματος, καίγοντάς το με έναν αναπτήρα ή ξύνοντάς το με γυαλόχαρτο.



**Εικόνα 2.3.8:** Τα υλικά από τα οποία αποτελείται η γεννήτρια.

**Σύνδεσε δύο led** αντίθετα πολωμένα στα δύο άκρα του καλωδίου και στερέωσέ τα με λάστιχα.

**Βάλε λίγο βαμβάκι** στο κάτω μέρος του σωλήνα για να προστατέψεις τη διάταξη από φθορές.

**Τοποθέτησε** μέσα στον σωλήνα έναν κυλινδρικό μαγνήτη νεοδυμίου με διάμετρο ελάχιστα μικρότερη από του σωλήνα.

Η γεννήτρια είναι έτοιμη. Βάλε το πώμα στον σωλήνα και κίνησέ τον γρήγορα πάνω κάτω. Τι παρατηρείς;

.....

.....

.....



**Βίντεο 2.3.6:**  
Παραγωγή ηλεκτρικού  
ρεύματος από την αυτο-  
σχέδια γεννήτρια.



Όταν ο ..... κινείται μέσα-έξω στο πηνίο, τα led .....  
Έφτιαξα λοιπόν μια συσκευή που παράγει ηλεκτρικό ..... και ονομάζεται:



## Η ηλεκτρική γεννήτρια

Ηλεκτρική γεννήτρια ή ηλεκτρογεννήτρια (generator) είναι κάθε διάταξη που βασίζεται πάνω στους νόμους του φαινομένου της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής και μεταμορφώνει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Γεννάει, παράγει δηλαδή, ηλεκτρικό ρεύμα.

Συγκεκριμένα στη γεννήτρια ένα πηνίο κινείται (στις βιομηχανικές γεννήτριες συνήθως περιστρέφεται) μέσα σ' ένα μαγνητικό πεδίο και αλλάζει έτσι ο αριθμός των μαγνητικών γραμμών που περνά από μέσα του και τότε στις άκρες του παράγεται διαφορά δυναμικού.

Η γεννήτρια αποτελείται από δύο μέρη: το ακίνητο μέρος της που λέγεται *στάτορας* και το κινητό μέρος της που λέγεται *ρότορας* (από την αγγλική λέξη rotor). Ο στάτορας αποτελείται από μαγνήτη ή ηλεκτρομαγνήτη και στον ρότορα υπάρχουν πηνία. Γυρίζοντας τον ρότορα μέσα στον στάτορα παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα.



**Εικόνα 2.3.9:** Γεννήτρια του σχολικού εργαστηρίου.



**Εικόνα 2.3.10:** Γεννήτρια του εμπορίου.



## Διεπιστημονικές – Διαθεματικές Εφαρμογές της Θεωρίας, Γενίκευση, Εμπέδωση, Ερμηνείες με τον μικρόκοσμο

### 1. Κινητήρας ή Γεννήτρια

Στην εικόνα 2.3.11 φαίνεται ο κινητήρας ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή ηλικίας 30 ετών. Όταν βρισκόταν στο εσωτερικό του υπολογιστή, έπαιρνε ηλεκτρικό ρεύμα από το τροφοδοτικό και περιστρεφόταν ο άξονάς του. Πάνω στον άξονα ήταν προσαρτημένη μια φτερωτή για να δημιουργεί ρεύμα αέρα και να ψύχει τον επεξεργαστή.



**Εικόνα 2.3.11:** Κινητήρας παλιού ηλεκτρονικού υπολογιστή, συνδεδεμένος με led.

Έπαιρνε λοιπόν ηλεκτρική ενέργεια και τη μετέτρεπε σε μηχανική. Σήμερα, το καλώδιο μέσω του οποίου έπαιρνε ηλεκτρική ενέργεια, είναι συνδεδεμένο με ένα led. Περιστρέφοντας τον άξονά του με το χέρι, το led ανάβει, όπως μπορείς να δεις στο βίντεο 2.3.7. Μετατρέπει δηλαδή τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική και λειτουργεί ως γεννήτρια.

**Συμπέρασμα:** η ίδια συσκευή μπορεί να μετατρέψει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική και να λειτουργήσει ως κινητήρας ή τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική και να λειτουργήσει ως γεννήτρια!



**Βίντεο 2.3.7:** Ο παλιός κινητήρας λειτουργεί ως γεννήτρια.

### 2. Η μαγεία του ηλεκτρισμού

Σε δύο πλαστικά μπουκάλια νερού έχει προσαρμοστεί ένας κινητήρας από CD player υπολογιστή, στο καθένα. Τα καλώδια καθενός κινητήρα έχουν βγει στο πλάι των μπουκαλιών και έχουν τοποθετηθεί μπόρνες, για να μπορούν να συνδεθούν τα δύο μπουκάλια μεταξύ τους. Στους άξονες των κινητήρων έχουν κολληθεί πλαστικοί σταυροί πλακιδίων. Περιστρέφοντας τον έναν σταυρό, το μπουκάλι συμπεριφέρεται σαν γεννήτρια, παράγει ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο κάνει τον σταυρό στο δεύτερο μπουκάλι να περιστραφεί, λειτουργώντας ως κινητήρας. Φυσικά περιστρέφοντας τον σταυρό στο δεύτερο μπουκάλι, αυτό συμπεριφέρεται σαν γεννήτρια και το πρώτο σαν κινητήρας. Το γεγονός αυτό δίνει τη δυνατότητα μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις, κάτι που έδωσε τεράστια ώθηση στην ανάπτυξη του πολιτισμού μας.



**Βίντεο 2.3.8:** Παραγωγή και μεταφορά ηλεκτρικού ρεύματος.



**Εικόνα 2.3.12:** Πλαστικά μπουκάλια με κινητήρες από CD player.

### 3. Ηλεκτρογεννήτριες σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Ζούμε σε μια εποχή όπου ο άνθρωπος εξαρτάται απόλυτα από την ηλεκτρική ενέργεια. Έτσι η ενεργειακή παραγωγή αποτελεί πρωταρχικό μέλημα για κάθε κράτος. Οι κυριότερες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή της είναι:

**Θερμοηλεκτρικοί Σταθμοί** όπου χημική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Με την καύση ορυκτών καυσίμων (λιγνιτών, τύρφης, λιθανθράκων, φυσικού αερίου, μαζούτ ή diesel), παράγεται θερμότητα που βράζει ποσότητα νερού σε ένα δίκτυο σωληνώσεων. Το νερό μετατρέπεται σε ατμό υψηλής πίεσης, ο οποίος θέτει σε κίνηση μία τουρμπίνα (ατμοστρόβιλο). Η τουρμπίνα μεταδίδει την κίνηση σε μια ηλεκτρογεννήτρια, οπότε παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα. Στη συνέχεια ο ατμός συμπυκνώνεται και γίνεται πάλι νερό που οδηγείται ξανά στον λέβητα.

**Υδροηλεκτρικοί σταθμοί** όπου δυναμική ενέργεια νερού μετατρέπεται σε κινητική μέσω υδατόπτωσης και στη συνέχεια σε ηλεκτρική, με τη βοήθεια ηλεκτρογεννήτριας.

### Σταθμοί Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) όπως:

- Αιολικά πάρκα όπου η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται σε ηλεκτρική καθώς γυρίζουν τα πτερύγια στον άξονα μιας ηλεκτρογεννήτριας.
- Θερμοηλεκτρικοί σταθμοί καύσης βιομάζας, με λειτουργία όμοια με τους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς ορυκτών καυσίμων.
- Συστήματα που εκμεταλλεύονται την κινητική ενέργεια των κυμάτων και της παλίρροιας, καθώς μια ηλεκτρογεννήτρια τη μετατρέπει σε ηλεκτρική.
- Ηλιακά - φωτοβολταϊκά συστήματα όπου ενέργεια από τον Ήλιο (δηλαδή ηλιακή ενέργεια ή καλύτερα ενέργεια ακτινοβολίας) μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας δεν γίνεται με χρήση ηλεκτρογεννήτριας.
- Γεωθερμικοί σταθμοί, στους οποίους θερμική ενέργεια ζεστού νερού, από το υπέδαφος, μεταμορφώνεται σε ηλεκτρική. Ούτε εδώ η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με χρήση ηλεκτρογεννήτριας.



Εικόνα 2.3.13: Μικτό σύστημα εκμετάλλευσης της ενέργειας του ανέμου και των κυμάτων.

### 4. Μετασχηματιστές (αρχές λειτουργίας, εφαρμογές)

Η αρχή λειτουργίας του μετασχηματιστή διατυπώθηκε το 1831 από τον Faraday, αν και τη χρησιμοποίησε μόνο για επίδειξη των αρχών της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Πρόκειται για μια συσκευή η οποία μεταφέρει ηλεκτρική ενέργεια μεταξύ δύο κυκλωμάτων, με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή.



Εικόνα 2.3.14: (γ) Μετασχηματιστής ΔΕΔΔΗΕ.

Ένα μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό ρεύμα στο πρώτο κύκλωμα (το «πρωτεύον») δημιουργεί μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο. Αυτό το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο προκαλεί μεταβαλλόμενη διαφορά δυναμικού στο δεύτερο κύκλωμα (το «δευτερεύον»). Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται *αμοιβαία επαγωγή*.

Με κατάλληλη επιλογή σπειρών στα πηνία των δύο κυκλωμάτων, καθορίζουμε τη διαφορά δυναμικού που έχει στα άκρα του το δευτερεύον, σύμφωνα με τη σχέση:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

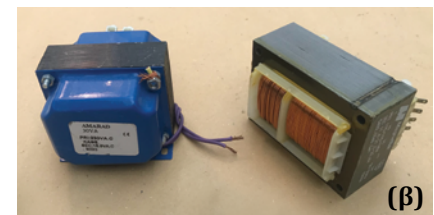
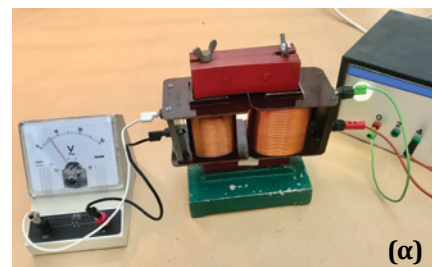
όπου  $V_1$  και  $V_2$  η τάση στα άκρα του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος και  $N_1$  και  $N_2$  ο αριθμός των σπειρών τους αντίστοιχα.

**Παράδειγμα:** Αν το ένα πηνίο έχει 500 σπείρες και το άλλο 100, τότε μια διαφορά δυναμικού 1000V στα άκρα του πρώτου, γίνεται στα άκρα του δεύτερου 200V. Μπορούμε λοιπόν με τους μετασχηματιστές να έχουμε τη διαφορά δυναμικού που κάθε φορά απαιτούν οι συσκευές μας!

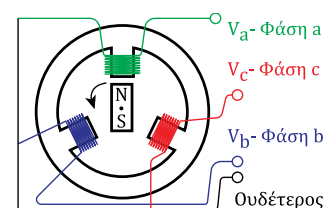
### 5. Τριφασικό ρεύμα

Στα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται οι λεγόμενες *τριφασικές γεννήτριες*. Η πιο απλή μορφή τριφασικής γεννήτριας είναι αυτή που φαίνεται στην εικόνα 2.3.15. Έχει τρία πηνία, τα οποία σχηματίζουν ανά δύο μεταξύ τους γωνία  $120^\circ$  και περιστρέφονται σε σχέση με έναν μαγνήτη. Σε καθένα από τα πηνία παράγεται εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα και το αλγεβρικό άθροισμα των ρευμάτων αυτών είναι μηδέν. Το ένα άκρο από κάθε πηνίο συνδέεται σε κοινό καλώδιο, που ονομάζεται *ουδέτερος*.

Για τη μεταφορά του ηλεκτρικού ρεύματος στους καταναλωτές χρησιμοποιούνται τέσσερα καλώδια. Τρία για τις φάσεις και ένα για τον ουδέτερο (Εικόνα 2.3.16). Η σύνδεση μιας οικίας γίνεται με μια φάση και τον ουδέτε-

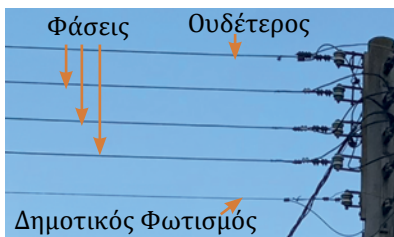


Εικόνα 2.3.14: (α) Μετασχηματιστής στο σχολικό εργαστήριο, (β) μετασχηματιστές του εμπορίου.



Εικόνα 2.3.15: Σχηματική παράσταση γεννήτριας τριφασικού ρεύματος.

ρο. Μεταξύ κάθε καλωδίου και του ουδέτερου έχουμε διαφορά δυναμικού 230 V, ό,τι ακριβώς χρειάζονται οι συσκευές του σπιτιού μας. Αν η ίδια μεταφορά γινόταν από τρεις διαφορετικές διατάξεις πηνίων, θα χρειαζόμασταν 6 καλώδια. Μπορείς να καταλάβεις πόση οικονομία σε υλικά γίνεται εδώ!



Εικόνα 2.3.17: Κολώνα ΔΕΔΔΗΕ.

Σε περιπτώσεις που υπάρχει μεγάλη κατανάλωση ή σε εγκαταστάσεις που οι συσκευές απαιτούν διαφορά δυναμικού 380V (εργοστάσια, ξενοδοχεία κ.ά.), χρησιμοποιούνται και οι τρεις φάσεις, κατάλληλα συνδεδεμένες. Στις περιπτώσεις αυτές λέμε ότι η εγκατάσταση τροφοδοτείται με τριφασικό ρεύμα.

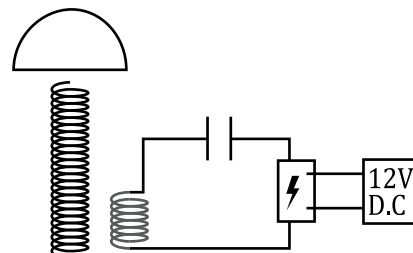


Εικόνα 2.3.16: Σήμερα πραγματοποιείται αντικατάσταση των γυμνών καλωδίων από συνεστραμμένα, μονωμένα καλώδια.

## 6. Τα πηνία Tesla

Το πηνίο Tesla είναι ένα είδος μετασχηματιστή που εφευρέθηκε το 1891 από τον Tesla για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης εναλλασσόμενου ρεύματος και χαμηλού φορτίου, για τον ασύρματο χειρισμό συσκευών από απόσταση, την ασύρματη επικοινωνία (ραδιοφωνία), καθώς και την ασύρματη μετάδοση ηλεκτρικής ενέργειας. Τα κυκλώματά του χρησιμοποιήθηκαν σε πομπούς για την ασύρματη τηλεγραφία μέχρι τη δεκαετία του 1920. Σήμερα χρησιμοποιείται κυρίως για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Ένα πηνίο Tesla αποτελείται από δυο πηνία - ένα πρωτεύον και ένα δευτερεύον. Το πρωτεύον με λίγες σπείρες αγωγού μεγάλης διατομής και το δευτερεύον με πολλές σπείρες αγωγού μικρής διατομής.

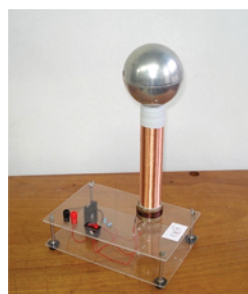
Η σύζευξη των πηνίων είναι χαλαρή (χωρίς σιδηρομαγνητικό πυρήνα) με διάκενα αέρα μεταξύ των σπειρών του πρωτεύοντος αλλά και μεταξύ του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος. Στο πρωτεύον εφαρμόζονται ηλεκτρικοί παλμοί. Στο δευτερεύον πηνίο εμφανίζεται από επαγωγή εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα. Με κατάλληλη επιλογή σπειρών στα δύο πηνία, η τάση εξόδου του μετασχηματιστή Tesla μπορεί να φτάσει σε επίπεδα MVolts, ικανή να προκαλέσει εντυπωσιακές ηλεκτρικές εκκενώσεις πολλών μέτρων στον αέρα.



Εικόνα 2.3.18: Σχηματική παράσταση των κυκλωμάτων του πηνίου Tesla.



Εικόνα 2.3.19: Κατασκευή με υλικά παρόμοια με αυτά που χρησιμοποίησε ο Tesla.



Εικόνα 2.3.20: Κατασκευή με σύγχρονα ηλεκτρονικά.

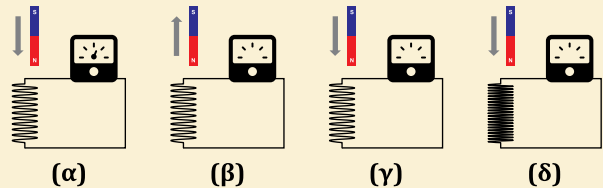


## Ερωτήσεις

- Αποφάσισε για καθεμία από τις παρακάτω προτάσεις, εάν είναι σωστή ή λανθασμένη.
  - Όταν ένας μαγνήτης βρίσκεται μέσα σε ένα πηνίο, παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα για όσο χρόνο ο μαγνήτης είναι μέσα στο πηνίο.
  - Όταν ένας μαγνήτης πλησιάζει ένα πηνίο, δημιουργείται επαγωγικό ρεύμα μόνο κατά την είσοδο του μαγνήτη στο πηνίο.
  - Όταν ένα πηνίο πλησιάζει έναν μαγνήτη, δημιουργείται διαφορά δυναμικού στα άκρα του πηνίου.
  - Η ηλεκτρογεννήτρια μεταμορφώνει την ηλεκτρική ενέργεια σε κινητική.
- Περίγραψε τις μεταμορφώσεις της ενέργειας όταν χρησιμοποιείς ποδήλατο με δυναμό, συνδεδεμένο με λάμπα πυράκτωσης.
- Δώσε μια εξήγηση για το παρακάτω κείμενο.  
«Όσο στα φώτα του ποδήλατου χρησιμοποιούνταν λάμπες πυράκτωσης, τα ποδήλατα είχαν δυναμό για να τις λειτουργούν και οι ποδηλάτες κουράζονταν πολύ. Σήμερα χρησιμοποιούνται λάμπες led που λειτουργούν με μπαταρίες και η ποδηλασία τη νύχτα έχει γίνει εύκολη υπόθεση.»
- Να συμπληρώσεις τα κενά με τη σωστή λέξη ή φράση:
  - Ηλεκτρομαγνητική..... ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο η μεταβολή του ..... πεδίου μέσα σε ένα πηνίο δημιουργεί ..... στα άκρα του, η οποία με τη σειρά της δημιουργεί ..... που διαρρέει το κύκλωμα.
  - Η επαγωγική τάση ..... όσο γρηγορότερα κινείται ο μαγνήτης μέσα-έξω στο πηνίο.
  - Η επαγωγική τάση ..... όσο ασθενέστερος είναι ο μαγνήτης που χρησιμοποιούμε.
  - Η επαγωγική τάση ..... όσο αυξάνεται ο αριθμός των σπειρών του πηνίου.
  - Στην ηλεκτρική γεννήτρια ένα ..... κινείται μέσα σ' ένα μαγνητικό πεδίο, αλλάζει έτσι ο αριθμός των ..... που περνά από μέσα του και τότε στις άκρες του παράγεται .....
  - Η γεννήτρια αποτελείται από δύο μέρη: το ακίνητο μέρος της που λέγεται ..... και το κινητό μέρος της που λέγεται ....., στο οποίο υπάρχουν πηνία. Γυρίζοντας τον ρότορα μέσα στον στάτορα παράγεται .....

## Ασκήσεις

- Στην εικόνα (α) φαίνεται τι συμβαίνει όταν ένας μαγνήτης πλησιάζει ένα πηνίο. Σημείωσε τη θέση της βελόνας στις εικόνες (β), (γ) και (δ). Στην εικόνα (δ) ο αριθμός των σπειρών του πηνίου είναι τετραπλάσιος.



- Το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται καθώς ένας μαγνήτης κινείται μέσα-έξω σε ένα πηνίο, είναι συνεχές ή εναλλασσόμενο;
- Εκτός από την επαγόμενη διαφορά δυναμικού, από τι άλλο εξαρτάται το ρεύμα που παράγεται από την ηλεκτρομαγνητική επαγωγή, σε ένα κλειστό κύκλωμα;
- Γιατί αν βάλουμε ένα δαχτυλίδι σε μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο θα θερμανθεί;
- Το δυναμό ενός ποδηλάτου είναι συνδεδεμένο με λαμπάκι ισχύος 20 W. Πόση ώρα πρέπει να κάνεις ποδήλατο για να παράξεις ενέργεια 1200J.

## Προβλήματα

- Η Ηλέκτρα έφαγε μια σοκολάτα και προσέλαβε ενέργεια 545,6 kcal. Πόση ώρα πρέπει να ποδηλατεί για να «κάψει» αυτές τις θερμίδες, αν το ποδήλατό της έχει ένα δυναμό συνδεδεμένο με λάμπα 80W και φροντίζει να κάνει ποδήλατο τόσο γρήγορα ώστε να την έχει συνεχώς αναμμένη (1kcal = 4.184J).
- Για να φτιάξεις κοτόπουλο με πατάτες στον φούρνο πρέπει η κουζίνα να λειτουργεί με ισχύ 1800W για 1,5 ώρα. Πόση ενέργεια καταναλώνει;
  - Ο Θαλής έχει ένα ποδήλατο με δυναμό. Αν έχει τη δυνατότητα να παράγει, σταθερά, ισχύ 50W και το συνδέσει με τον φούρνο, σε πόσο χρόνο θα παράγει την ενέργεια που απαιτείται για να ψήσει το κοτόπουλο;

## Σύνοψη κεφαλαίου 2

- Οι μαγνήτες αλληλεπιδρούν μόνο με τρία υλικά και κάποια από τα κράματά τους. Τα υλικά αυτά ονομάζονται **σιδηρομαγνητικά** και είναι **ο σίδηρος, το νικέλιο και το κοβάλτιο**.
- Κάθε μαγνήτης διαθέτει δύο περιοχές ισχυρής αλληλεπίδρασης, οι οποίες ονομάζονται **πόλοι**.
- Η Γη αλληλεπιδρά με τους μαγνήτες γιατί είναι και η ίδια ένας γιγάντιος αλλά πολύ ασθενής μαγνήτης με τους πόλους του κοντά στους γεωγραφικούς πόλους. Όμως κοντά στον γεωγραφικό βόρειο πόλο βρίσκεται ο μαγνητικός νότιος πόλος της (έλκει τον βόρειο πόλο των μαγνητών) και κοντά στον γεωγραφικό νότιο πόλο βρίσκεται ο μαγνητικός βόρειος πόλος της (έλκει τον νότιο πόλο των μαγνητών).
- Σπάζοντας έναν μαγνήτη, οι μαγνητικοί πόλοι **δεν διαχωρίζονται**. Θα προκύψουν δυο μαγνήτες, με δύο πόλους ο καθένας (έναν Βόρειο και έναν Νότιο). Αν συνεχίσουμε και σπάμε τους δύο μαγνήτες σε περισσότερα κομμάτια, παίρνουμε κάθε φορά μαγνήτες με δύο πόλους ο καθένας. Ακόμα κι αν φτάσουμε σε ένα μόριο (ή άτομο) του αρχικού μαγνήτη, θα έχουμε πάλι παρόντες και τους δύο διαφορετικούς πόλους του. Πρόκειται για έναν μοριακό (ή ατομικό) μαγνήτη.
- Ονομάζουμε μαγνητικό πεδίο τον χώρο που έχει την ιδιότητα να δρουν σε αυτόν **μαγνητικές δυνάμεις**.
- **Οι ιδιότητες των μαγνητικών δυναμικών γραμμών είναι:**
  - (α) Είναι πιο πυκνές εκεί που οι μαγνητικές δυνάμεις είναι ισχυρότερες.
  - (β) Μας δείχνουν την κατεύθυνση των δυνάμεων.
  - (γ) Δεν τέμνονται μεταξύ τους.
  - (δ) Ξεκινούν, κατά σύμβαση, από βόρειο πόλο και καταλήγουν στον νότιο πόλο.
  - (ε) Σε αντίθεση με τις ηλεκτρικές δυναμικές γραμμές, είναι πάντοτε κλειστές.
- Το ηλεκτρικό ρεύμα, δηλαδή η προσανατολισμένη κίνηση φορτίων, δημιουργεί **μαγνητικό πεδίο**. Στην περίπτωση αυτή, ηλεκτρική ενέργεια αποθηκεύεται ως ενέργεια μαγνητικού πεδίου, και βέβαια είναι ουσιαστικά μορφή δυναμικής ενέργειας.
- Το πλεονέκτημα του ηλεκτρομαγνήτη, έναντι του μόνιμου μαγνήτη, είναι ότι παύει να είναι μαγνήτης όταν δεν διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα.
- Γύρω από κάθε ρευματοφόρο αγωγό δημιουργείται μαγνητικό πεδίο, το οποίο αλληλεπιδρά με μαγνητικά πεδία που βρίσκονται στον χώρο γύρω του. Η αλληλεπίδραση αυτή ονομάζεται **ηλεκτρομαγνητική δύναμη ή δύναμη Laplace**.
- **Ηλεκτροκινητήρες** είναι οι διατάξεις που μεταμορφώνουν την ηλεκτρική ενέργεια σε κινητική.
- Η λειτουργία των ηλεκτρικών κινητήρων βασίζεται στην αλληλεπίδραση του ηλεκτρικού ρεύματος με το μαγνητικό πεδίο. Ένα πηνίο με πολλές σπείρες βρίσκεται μέσα στο πεδίο ενός μαγνήτη. Καθώς το πηνίο διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, **αλληλεπιδρά** με το μαγνητικό πεδίο και **περιστρέφεται**.
- Η μεταβολή του μαγνητικού πεδίου μέσα σε ένα πηνίο δημιουργεί διαφορά δυναμικού στα άκρα του (**επαγωγική τάση**), η οποία με τη σειρά της, όταν το πηνίο βρίσκεται σε κλειστό κύκλωμα, δημιουργεί ηλεκτρικό ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα (επαγωγικό ρεύμα).
- **Ηλεκτρική γεννήτρια** είναι κάθε διάταξη που βασίζεται πάνω στους νόμους του φαινομένου της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής και μεταμορφώνει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική.



Έλεγξε τις γνώσεις σου λύνοντας σταυρόλεξο.

## 3.1 Φύση και διάδοση του φωτός



Εικόνα 3.1.1: Έκρηξη Supernova



Για τις δραστηριότητες της παραγράφου αυτής θα χρειαστούν:

Laser pointer (δείκτης λέιζερ), πράσινο laser, ψεκαστήρας νερού, μικρός φακός με μπαταρία, μεγάλος φακός με μπαταρία, χτένα, επίπεδος καθρέφτης, γωνιομετρικός δίσκος τυπωμένος σε χαρτί, κολλητική ταινία, 2 πιάστρες (κλιπ χαρτιών) ή 2 μανταλάκια, κουτάλι σούπας (καλά γυαλισμένο).

**Μετά από αυτή την ενότητα θα είσαι σε θέση να:**

1. αναγνωρίζεις τη διττή φύση του φωτός (κυματική και σωματιδιακή).
2. σχεδιάζεις την πορεία φωτεινών ακτίνων σε ένα ομογενές μέσο και να αιτιολογείς τη δημιουργία σκιάς των αντικειμένων.
3. διαπιστώνεις πειραματικά τους νόμους της ανάκλασης του φωτός.
4. αναγνωρίζεις τα είδη των κατόπτρων και να αναφέρεις καθημερινές εφαρμογές τους.



Τη νύχτα της 23ης Φεβρουαρίου του 1987 ο αστρονόμος Ian Shelton (Ίαν Σέλτον) φωτογράφησε με τη βοήθεια τηλεσκοπίου την έκρηξη ενός άστρου (supernova) που είχε συμβεί περίπου 170.000 χρόνια πριν.

### Ας αναρωτηθούμε

1. Τι είναι το φως; Ο Ήλιος, τα άστρα και η Σελήνη παράγουν φως;
2. Όλα τα σώματα παράγουν φως; Πώς γίνονται ορατά τα αντικείμενα γύρω μας;
3. Πόσο γρήγορα ταξιδεύει το φως από τα άστρα στα μάτια μας (εικόνα 3.1.1);
4. Γιατί συμβαίνουν οι εκλείψεις του Ηλίου και της Σελήνης;
5. Πώς εξηγείται το γεγονός ότι όταν κοιτάζουμε στην ήρεμη επιφάνεια της λίμνης (εικόνα 3.1.2) βλέπουμε πάνω της τον ουρανό με τα σύννεφα και το είδωλο της βάρκας;
6. Γιατί τα γράμματα στο μπροστινό μέρος των ασθενοφόρων είναι γραμμένα ανάποδα (εικόνα 3.1.3);



Εικόνα 3.1.2: Ο ουρανός καθρεφτίζεται στα ήρεμα νερά της λίμνης.



Εικόνα 3.1.3: Το μπροστινό μέρος ασθενοφόρου.



## Τι είναι το φως;

Το φως, σύμφωνα με την **κβαντική θεωρία**, αποτελείται από **φωτόνια (ή κβάντα φωτός)**. Το κάθε φωτόνιο μεταφέρει ενέργεια. Η λέξη quantum στα λατινικά σημαίνει ποσότητα. Οπότε φως είναι ροή φωτονίων, το καθένα από τα οποία είναι ένα κβάντο ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας.

Όταν μιλάμε για φως αναφερόμαστε στο ορατό τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας το οποίο γίνεται αισθητό από τα μάτια μας.

Καθώς το φως μεταφέρει ενέργεια που ονομάζεται **φωτεινή ενέργεια**, το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασής του με την ύλη είναι η φωτεινή του ενέργεια να προκαλεί θέρμανση, χημικές αντιδράσεις και συνήθως να μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια.

## Αυτόφωτα και ετερόφωτα σώματα

Για να γίνει ορατό ένα αντικείμενο πρέπει να είναι το ίδιο πηγή φωτός ή να στέλνει σ' εμάς το φως που προσπίπτει πάνω του όταν φωτίζεται από μια πηγή φωτός.

Τα σώματα που εκπέμπουν τα ίδια φως ονομάζονται **αυτόφωτα** σώματα. Αυτόφωτα σώματα για παράδειγμα είναι ο Ήλιος, τα άστρα, μια λάμπα αναμμένη, μια φλόγα κ.ά.

Τα υπόλοιπα σώματα μπορούν να γίνουν ορατά μόνο στέλνοντας στα μάτια μας το φως που προσπίπτει επάνω τους από μια πηγή φωτός. Τα σώματα αυτά ονομάζονται **ετερόφωτα σώματα**. Ετερόφωτα σώματα είναι για παράδειγμα η Σελήνη αλλά και όλα τα αντικείμενα μέσα σε ένα δωμάτιο τα οποία γίνονται ορατά τη νύχτα εξαιτίας του φωτός που προσπίπτει πάνω τους, προερχόμενο από έναν αναμμένο λαμπτήρα που βρίσκεται στο δωμάτιο, και μετά φτάνει στα μάτια μας. Όταν σβήσουμε τον λαμπτήρα τα αντικείμενα μέσα στο δωμάτιο «εξαφανίζονται». Όχι βέβαια ότι παύουν να υπάρχουν απλά δεν είναι πλέον ορατά.



Εικόνα 3.1.4: Αυτόφωτα και ετερόφωτα σώματα.

## Πότε γίνεται ορατή η διαδρομή του φωτός;

### Πρακτική δραστηριότητα:



Μερικές φορές το φως του Ήλιου, καθώς διέρχεται ανάμεσα από τα σύννεφα, δημιουργεί δέσμες φωτός. Είναι ορατή πάντοτε η διαδρομή του φωτός;



Εικόνα 3.1.5: Ακτίνες του Ήλιου ανάμεσα στα σύννεφα.



**Αναψε το laser** σημαδεύοντας έναν τοίχο.

**Προσοχή** με τη χρήση του laser pointer. Να μην το στρέφεις στα μάτια των συμμαθητών σου (ούτε βέβαια στα δικά σου) καθώς μπορεί να προκαλέσει βλάβη στα μάτια και να προκληθεί απώλεια της όρασης.

Βλέπεις κάποιο ίχνος του φωτός του laser στον τοίχο;

.....

Βλέπεις το φως του laser (κοιτώντας από το πλάι) μέχρι τον τοίχο;

.....

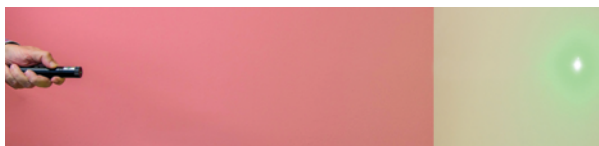
**Ψέκασε με τον ψεκαστήρα νερού** ανάμεσα στον δείκτη laser και τον τοίχο. Βλέπεις το φως που εκπέμπει το laser;

.....

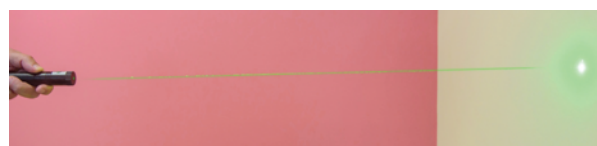
Πώς εξηγείς ότι σε αυτήν την περίπτωση βλέπεις τη δέσμη φωτός (τη διαδρομή του φωτός);

.....

Πώς περιγράφεις την τροχιά της διαδρομής του φωτός του laser;



Εικόνα 3.1.6α: «Αόρατη» ακτίνα laser.



Εικόνα 3.1.6β: Η ακτίνα laser γίνεται ορατή.



Βλέπω το φως όταν ..... με σωματίδια νερού ή σκόνης. Μέσω των αλληλεπιδράσεων αυτών γίνεται ορατή η ..... πορεία της δέσμης του φωτός.



## Δέσμες φωτός – Ακτίνες φωτός

Βλέπουμε δέσμες φωτός όταν **το φως αλληλεπιδρά** με τα σωματίδια της σκόνης και των υδρατμών της ατμόσφαιρας. Επειδή η επιφάνεια των σωματιδίων είναι τραχιά, το φως σκορπίζει και έτσι γίνεται ορατή η διαδρομή της δέσμης του φωτός. Οι δέσμες του φωτός υπάρχουν έστω και αν δεν τις βλέπουμε πάντα. Το φαινόμενο γίνεται ορατό στη φύση όταν στην ατμόσφαιρα υπάρχει αρκετή υγρασία και επικρατεί νέφωση, με κενά ανάμεσα στα σύννεφα. Συμβαίνει συνήθως τις πρωινές ή τις απογευματινές ώρες.

Μια πολύ λεπτή δέσμη φωτός την παριστάνουμε σχηματικά με ευθείες παράλληλες ή για απλούστευση με μια μόνο ευθεία την οποία ονομάζουμε **ακτίνα φωτός**. Χρησιμοποιούμε το μοντέλο των ακτίνων φωτός για να περιγράψουμε κάποια από τα φαινόμενα του φωτός και με τη βοήθεια της Γεωμετρίας. Ο κλάδος αυτός της Φυσικής λέγεται **Γεωμετρική Οπτική**. Το μοντέλο των ακτίνων φωτός κάνει φανερή την πορεία του φωτός σε ένα ομογενές μέσο κατά μήκος του οποίου ρέει η ενέργεια του φωτός. Μια ακτίνα από laser αποτελεί καλή προσέγγιση για την επίδειξη της ακτινικής συμπεριφοράς του φωτός.

## Η διαδρομή του φωτός

### Πρακτική δραστηριότητα:



Η διαδρομή που ακολουθεί το φως είναι πάντοτε ευθύγραμμη;





**Στερέωσε** με πιαστράκι όρθια τη χτένα πάνω στο τραπέζι σε απόσταση 10cm μπροστά από τον φακό και άναψε τον φακό.

Περνά το φως μέσα από ολόκληρη τη χτένα ή μόνο από κάποια μέρη της; .....

Από ποια μέρη της χτένας περνά το φως;

.....

Πώς μπορείς να περιγράψεις την πορεία του φωτός μέσα από τις σχισμές;

Διαδίδεται ευθύγραμμα; .....

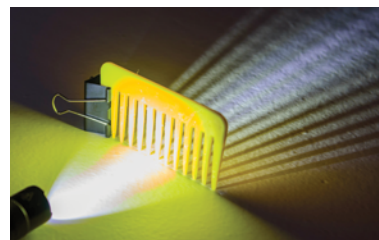
Τι χαρακτηριστικό έχουν μεταξύ τους οι ακτίνες φωτός; Είναι παράλληλες ή απομακρύνονται μεταξύ τους (δηλαδή αποκλίνουν);

.....

**Απομάκρυνε τη χτένα σε απόσταση 50cm από τον φακό** (ή και μεγαλύτερη). Τι χαρακτηριστικό έχουν τώρα μεταξύ τους οι ακτίνες φωτός; Είναι σχεδόν παράλληλες; .....



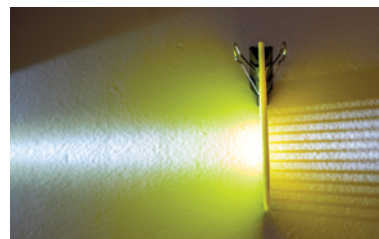
- Το φως διαδίδεται ..... μέσα από κάθε σχισμή.
- Όταν η απόσταση του φακού από τις σχισμές είναι μικρή, οι ακτίνες φωτός ..... είναι παράλληλες μεταξύ τους, αλλά .....
- Όταν η απόσταση του φακού από τις σχισμές είναι μεγάλη, οι ακτίνες φωτός είναι ..... μεταξύ τους.



(α)



(β)



(γ)

Εικόνα 3.1.7: Οι ακτίνες φωτός μέσα από χτένα.



Βίντεο 3.1.2: Διάδοση του φωτός μέσα από χτένα.



## Η ευθύγραμμη διάδοση του φωτός

**Το φως διαδίδεται ευθύγραμμα** σε ένα υλικό το οποίο έχει σε όλη την έκτασή του την ίδια πυκνότητα και την ίδια θερμοκρασία, έχει δηλαδή παντού τις ίδιες ιδιότητες. Το υλικό χαρακτηρίζεται τότε ως **ομογενές υλικό** ή **ισότροπο υλικό**.

Το φως στο κενό διαδίδεται με **ταχύτητα c** περίπου ίση με  $3 \cdot 10^8$  m/s ή 300.000Km/s, (ακριβέστερα με  $2,99792458 \cdot 10^8$  m/s) η οποία είναι η μεγαλύτερη ταχύτητα στη φύση. Το φως διαδίδεται σε άλλα οπτικά μέσα με ταχύτητες μικρότερες από την ταχύτητα του φωτός στο κενό.

Σε μεγάλη απόσταση από μια πηγή φωτός, οι ακτίνες φωτός είναι παράλληλες μεταξύ τους.



Λυμένο παράδειγμα.

μέσο διάδοσης	ταχύτητα διάδοσης φωτός ( $\times 10^8$ m/s)
κενό	2,99792458
αέρας	2,9970
νερό	2,25
γυαλί	2



## Οπτικά μέσα

Το φως δεν διαδίδεται μέσα από όλα τα υλικά. Τα ετερόφωτα σώματα διακρίνονται σε διαφανή, ημιδιαφανή και αδιαφανή.

- **Διαφανή** ονομάζονται τα υλικά μέσα από τα οποία διέρχεται το φως. Παράδειγμα διαφανών υλικών είναι το νερό, το γυαλί, ο αέρας.
- **Ημιδιαφανή** ονομάζονται τα υλικά μέσα από τα οποία διέρχεται μόνο ένα ποσοστό του φωτός που προσπίπτει πάνω τους καθώς απορροφούν το υπόλοιπο ποσοστό του προσπίπτοντος φωτός. Παράδειγμα ημιδιαφανών υλικών είναι η ομίχλη, ένα φύλλο ρυζόχαρτο, ένα λεπτό, χρωματιστό, πλαστικό αντικείμενο.

Τα διαφανή και τα ημιδιαφανή υλικά ονομάζονται **οπτικά μέσα**.

- **Αδιαφανή** ονομάζονται τα υλικά μέσα από τα οποία δεν διέρχεται το φως. Παράδειγμα αδιαφανών υλικών είναι ένας τοίχος, το ανθρώπινο σώμα, ένα κομμάτι αλουμινοχαρτο.

## Φως από σημειακή φωτεινή πηγή

### Πρακτική δραστηριότητα



Σημειακή φωτεινή πηγή θεωρείται μια φωτεινή πηγή μικρών διαστάσεων σε σχέση με τις διαστάσεις του αντικείμενου και σε σχέση με την απόστασή της από το αντικείμενο. Δημιουργείται πάντοτε σκιά πίσω από ένα αντικείμενο που φωτίζεται από σημειακή φωτεινή πηγή; Είναι πάντοτε ίδιο το μέγεθος της σκιάς ενός αντικείμενου;



Άναψε τον φακό σε απόσταση μισού μέτρου από τον τοίχο και φώτισε το χέρι σου που βρίσκεται σε απόσταση 10 cm μπροστά από τον τοίχο (μπορείς να χρησιμοποιήσεις και την προσομοίωση της σελίδας 151).

Τι παρατηρείς να δημιουργείται στον τοίχο (πίσω από το χέρι σου);

.....

Ένα διαφανές υλικό (όπως η φλόγα ενός κεριού) όταν φωτιστεί σχηματίζει σκιά πίσω του;

.....

Για ποιους λόγους νομίζεις ότι δημιουργείται σκιά πίσω από το χέρι σου;

1<sup>ος</sup>) .....

2<sup>ος</sup>) .....



Εικόνα 3.1.8: Σκιά πίσω από αναμμένο κερι.

Αν το φως δεν διαδιδόταν ευθύγραμμα θα σχηματιζόταν σκιά πίσω από το χέρι σου;

.....

.....

Παρατήρησε **το σχήμα** και **το μέγεθος της σκιάς**. Είναι ίδιου σχήματος και ίσου μεγέθους με το χέρι σου;

.....

ΝΑΙ

ΟΧΙ



Βίντεο 3.1.3: Δημιουργία σκιάς από σημειακή φωτεινή πηγή.

**Πλησίασε τον φακό** (στα 20cm) από τον τοίχο και παρατήρησε το μέγεθος της σκιάς του χεριού σου.

**Απομάκρυνε τον φακό** (στο 1m) από τον τοίχο και παρατήρησε το μέγεθος της σκιάς του χεριού σου.

Σε ποια περίπτωση απόστασης του φακού από το χέρι σου, το μέγεθος της σκιάς του χεριού σου είναι μεγαλύτερο;

.....



Όταν το φως προέρχεται από μια **σημειακή φωτεινή πηγή**, τότε δημιουργείται σκιά πίσω από το χέρι.

• Η δημιουργία σκιάς οφείλεται:

1<sup>ο</sup>) στην ..... διάδοση του φωτός και

2<sup>ο</sup>) στο ότι το χέρι είναι ..... υλικό.

• Το μέγεθος της σκιάς ..... καθώς η φωτεινή πηγή πλησιάζει στο αντικείμενο.



## Η σκιά

Εφόσον τα **αδιαφανή υλικά** δεν επιτρέπουν στο φως να περάσει μέσα τους και καθώς **το φως διαδίδεται ευθύγραμμο** έχουν ως αποτέλεσμα πίσω από ένα αδιαφανές αντικείμενο να **δημιουργείται σκιά**. Η σκιά είναι ένας σκοτεινός χώρος. Αν το φως δεν διαδιδόταν ευθύγραμμο, δεν θα δημιουργούνταν σκιές πίσω από τα αδιαφανή αντικείμενα.

Ο **Ήλιος** έχει πολύ μεγάλες διαστάσεις. Βρίσκεται όμως σε πολύ μεγάλη απόσταση από τη Γη, άρα θεωρείται **σημειακή φωτεινή πηγή**. Το μέγεθος της σκιάς ενός αντικείμενου πάνω στη Γη που οφείλεται στο φως του Ήλιου δεν είναι σταθερό. Αυτό όμως δεν έχει σχέση με την απόσταση του Ήλιου από το αντικείμενο (που έτσι κι αλλιώς είναι μεγάλη) αλλά με τη γωνία υπό την οποία πέφτουν οι ακτίνες του Ήλιου στο αντικείμενο. Όταν ο Ήλιος είναι κοντά στον ορίζοντα (δηλαδή όταν ανατέλλει ή όταν δύει), οι σκιές των αντικειμένων έχουν μεγάλο μέγεθος, ενώ όταν ο Ήλιος βρίσκεται στο ψηλότερο σημείο της τροχιάς του (δηλαδή το μεσημέρι) οι σκιές έχουν το μικρότερό τους μέγεθος. Η παρατήρηση αυτή βρίσκει εφαρμογή στην κατασκευή ηλιακών ρολογιών και στον εντοπισμό της διεύθυνσης Βορρά - Νότου.



Προσομοίωση: Εντοπισμός Βορρά από μέγεθος σκιάς στύλου.

## Φως από μεγάλων διαστάσεων φωτεινή πηγή



### Πρακτική δραστηριότητα

Δημιουργείται μόνο σκιά πίσω από ένα αντικείμενο που φωτίζεται από φωτεινή πηγή μεγάλων διαστάσεων;





**Άναψε τον φακό σε απόσταση 15 cm από τον τοίχο και φώτισε το χέρι σου που βρίσκεται σε απόσταση 10 cm από τον τοίχο.**

Παρατηρείς μόνο σκιά πίσω από το χέρι σου όπως και στην προηγούμενη δραστηριότητα;

.....

Πώς περιγράφεις αυτό που παρατηρείς γύρω από τη σκιά του χεριού σου;

.....

Πώς εξηγείς τη δημιουργία αυτού που βλέπεις γύρω από τη σκιά του χεριού σου;

.....



Προσομοίωση: Δημιουργία σκιάς και παρασκιάς.



Όταν το φως από μια φωτεινή πηγή ..... διαστάσεων προσπέσει σε αδιαφανές σώμα, τότε πίσω από το σώμα σχηματίζεται εκτός από την τελείως σκοτεινή περιοχή (.....) και μια άλλη γκριζα περιοχή, που φωτίζεται μερικώς από τη μεγάλων διαστάσεων φωτεινή πηγή. Η ..... αυτή ονομάζεται παρασκιά.



## Η παρασκιά

Όταν η **φωτεινή πηγή** είναι **μεγάλων διαστάσεων**, τότε πίσω από ένα αδιαφανές σώμα που φωτίζεται από την πηγή, εκτός από **σκιά** δημιουργείται και **παρασκιά**. Η παρασκιά είναι ένας χώρος που δεν είναι τελείως σκοτεινός καθώς φωτίζεται μερικώς από τη φωτεινή πηγή. Είναι μια περιοχή στην οποία το αντικείμενο κρύβει τμήμα της φωτεινής πηγής.

## Το φως προσπίπτει σε επιφάνεια

### Πρακτική δραστηριότητα



**Τι θα συμβεί όταν το φως πέσει πάνω σε μια λεία και γυαλιστερή επιφάνεια;**

.....

**Τι θα συμβεί όταν φως πέσει πάνω σε μια τραχιά επιφάνεια;**

.....



**Άναψε το laser** και ρίξε το φως του σε έναν καθρέφτη. Παρατήρησε την πορεία της φωτεινής δέσμης.

Η φωτεινή δέσμη .....

**Άναψε το laser** και ρίξε με το φως του σε έναν τοίχο. Παρατήρησε την πορεία της φωτεινής δέσμης.

Η φωτεινή δέσμη .....



Αν μια δέσμη laser προσπέσει σε έναν καθρέφτη ..... πίσω. Αν μια δέσμη laser προσπέσει σε έναν τοίχο θα σχηματίσει ένα ..... αλλά δεν θα επιστρέψει πίσω όπως στη περίπτωση του καθρέφτη.



Βίντεο 3.1.4:  
Ανάκλαση και  
Διάχυση



## Ανάκλαση και διάχυση

**Ανάκλαση** ονομάζουμε το φαινόμενο της αλλαγής της πορείας διάδοσης του φωτός, όταν συναντήσει την επιφάνεια ενός σώματος, επιστρέφοντας στο ίδιο οπτικό μέσο.

Η ανάκλαση μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

- Αν μια παράλληλη δέσμη ακτίνων φωτός πέσει σε μια **λεία επιφάνεια**, όπως είναι η επιφάνεια ενός καθρέπτη, θα συμβεί **κατοπτρική ανάκλαση**. Μετά την ανάκλαση, οι ακτίνες θα συνεχίσουν να είναι παράλληλες. Εξαιτίας της κατοπτρικής ανάκλασης μπορούμε να δούμε τον εαυτό μας (να καθρεφτιστούμε) σε έναν καθρέφτη.
- Αν μια παράλληλη δέσμη φωτός πέσει σε μια **τραχιά επιφάνεια**, όπως είναι η επιφάνεια του τοίχου, θα συμβεί **διάχυτη ανάκλαση (ή διάχυση)**. Μετά την ανάκλαση οι ακτίνες δεν θα είναι παράλληλες μεταξύ τους. Δεν μπορούμε να καθρεφτιστούμε σε έναν τοίχο γιατί η ανάκλαση που συμβαίνει τότε είναι διάχυτη.

Πολλές επιφάνειες φαίνονται λείες αλλά στην πραγματικότητα είναι τραχιές ώστε να ανακλούν το φως που προσπίπτει πάνω τους προς όλες τις κατευθύνσεις. Εξαιτίας της διάχυτης ανάκλασης γίνονται ορατά τα αντικείμενα που είναι ετερόφωτα καθώς το φως που προσπίπτει πάνω τους σκορπίζεται προς όλες τις κατευθύνσεις.

Σκέψου πώς θα ήταν ο κόσμος μας αν δεν συνέβαινε το φαινόμενο της ανάκλασης.

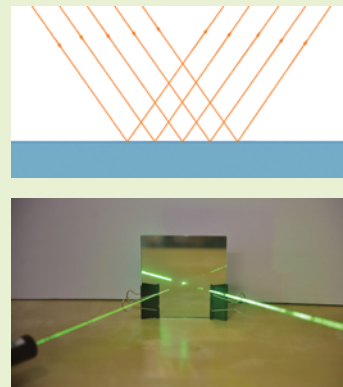
## Κάτοπτρα (καθρέφτες)

Τα κάτοπτρα (καθρέφτες) είναι λείες γυάλινες επιφάνειες οι οποίες έχουν στο πίσω μέρος τους λεπτή επίστρωση αλουμινίου ή άργυρου ώστε να ανακλούν (σχεδόν κατά 90%) το φως που προσπίπτει πάνω τους.

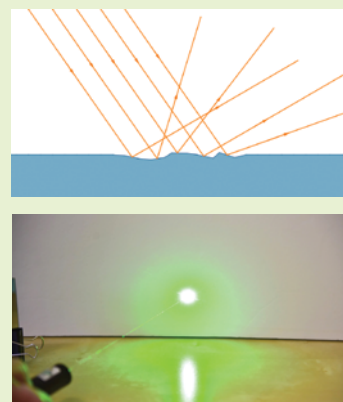
Τα κάτοπτρα, αναλόγως του σχήματος της κατοπτρικής επιφάνειας, διακρίνονται σε **επίπεδα κάτοπτρα** και σε **καμπύλα κάτοπτρα** (σφαιρικά, παραβολικά, κυλινδρικά).

## Είδωλο αντικειμένου

Η εικόνα ενός σώματος (αντικείμενο) που βρίσκεται μπροστά από μια λεία και γυαλιστερή επιφάνεια, όπως αυτή φαίνεται πάνω στην επιφάνεια, ονομάζεται **είδωλο** του αντικειμένου.



Εικόνα 3.1.9: Κατοπτρική ανάκλαση.



Εικόνα 3.1.10: Διάχυτη ανάκλαση.

## I) Επίπεδα κάτοπτρα Νόμοι της κατοπτρικής ανάκλασης σε επίπεδο κάτοπτρο



**Πειραματική δραστηριότητα:**

Είναι προβλέψιμη η πορεία μιας ακτίνας φωτός μετά την ανάκλασή της σε επίπεδο κάτοπτρο;

ΝΑΙ

ΟΧΙ





Βίντεο 3.1.5: Οι νόμοι της ανάκλασης.



**Τοποθέτησε τον γωνιομετρικό δίσκο** πάνω στο θρανίο.

**Στερέωσε** με τις πιάστρες **τον καθρέφτη** σε κατακόρυφη θέση πάνω στον γωνιομετρικό δίσκο, ώστε να συμπίπτει με τη διάμετρο του γωνιομετρικού δίσκου (που αντιστοιχεί στις γωνίες 90°-270°) και το μέσον του καθρέφτη να συμπίπτει με το κέντρο του γωνιομετρικού δίσκου.

**Αναψε το laser** ώστε η φωτεινή δέσμη του να πέσει υπό γωνία στο μέσον του καθρέφτη που συμπίπτει με το κέντρο του γωνιομετρικού δίσκου.

**Στρίψε το laser** έτσι ώστε η προσπίπτουσα ακτίνα να σχηματίζει με την κάθετη στην επιφάνεια του καθρέφτη γωνία ίση με 30° (**γωνία πρόσπτωσης π**).

**Μέτρησε** στον γωνιομετρικό δίσκο τη **γωνία ανάκλασης α** (τη γωνία ανάμεσα στην ανακλώμενη ακτίνα και την κάθετη στην επιφάνεια του καθρέφτη).

**Επανάλαβε** τη διαδικασία επιλέγοντας διαδοχικά γωνίες πρόσπτωσης 45°, 60° και μια ακόμη δικής σου επιλογής.

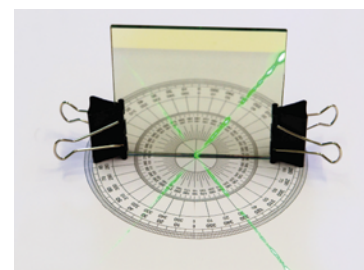
**Συμπλήρωσε** τον παρακάτω πίνακα 3.1.1 με τις αντίστοιχες τιμές για τις γωνίες ανάκλασης. **Συμπλήρωσε** με (>, =, <) τη σχέση που διαπιστώνεις κάθε φορά ανάμεσα στις γωνίες πρόσπτωσης π και ανάκλασης α.

Πίνακας 3.1.1		
γωνία πρόσπτωσης π	γωνία ανάκλασης α	σχέση των γωνιών π και α
30°		
45°		
60°		
της επιλογής σου .....		

**Παρατήρησε τις ακτίνες** πρόσπτωσης και ανάκλασης καθώς και την κάθετη στον καθρέφτη.

Βρίσκονται όλες στο ίδιο επίπεδο (το οποίο είναι κάθετο στον καθρέφτη);

.....  
 .....



Εικόνα 3.1.11: Ανάκλαση laser σε καθρέφτη.



Η γωνία ανάκλασης είναι ..... με τη γωνία πρόσπτωσης.

Οι ακτίνες πρόσπτωσης και ανάκλασης καθώς και η κάθετη στην επιφάνεια ανάκλασης είναι στο ..... επίπεδο το οποίο είναι ..... στην επιφάνεια ανάκλασης.



## Νόμοι της κατοπτρικής ανάκλασης

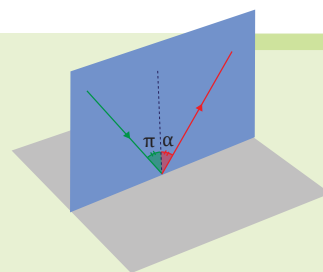
### 1<sup>ος</sup> νόμος:

Η γωνία ανάκλασης **α**, δηλαδή η γωνία ανάμεσα στην ανακλώμενη ακτίνα και στην κάθετη στην επιφάνεια ανάκλασης, ισούται με τη γωνία πρόσπτωσης **π**, δηλαδή τη γωνία ανάμεσα στην προσπίπτουσα ακτίνα και στην κάθετη στην επιφάνεια ανάκλασης.

$$\alpha = \pi \quad (3.1.1)$$

**2<sup>ος</sup> νόμος:**

Οι ακτίνες πρόσπτωσης και ανάκλασης αλλά και η κάθετη στην επιφάνεια ανάκλασης βρίσκονται στο **ίδιο επίπεδο**, το οποίο είναι κάθετο στην επιφάνεια ανάκλασης.



Εικόνα 3.1.12: Σχηματική αναπαράσταση των νόμων της ανάκλασης.

## Χαρακτηριστικά του ειδώλου σε σχέση με αυτά του αντικειμένου

### Ψηφιακή δραστηριότητα



Η απόσταση του ειδώλου είναι μικρότερη από την απόσταση του αντικειμένου από το επίπεδο κάτοπτρο;

Το μέγεθος του ειδώλου είναι μικρότερο από το μέγεθος του αντικειμένου;



Θα χρειαστεί να αξιοποιήσεις την προσομοίωση.

Άλλαξε αν θέλεις την απόσταση του αντικειμένου από το κάτοπτρο.

Εμφάνισε τον οριζόντιο χάρακα (πατώντας στο αντίστοιχο ).

Μέτρησε την απόσταση του αντικειμένου από το κάτοπτρο.

Είναι .....

Μέτρησε την απόσταση του ειδώλου που σχηματίζεται από το κάτοπτρο.

Είναι.....

Ποια είναι η σχέση των δύο αποστάσεων που μέτρησες;

.....

.....

Εμφάνισε τον κατακόρυφο χάρακα (πατώντας στο αντίστοιχο ).

Μέτρησε το ύψος του αντικειμένου.

Είναι.....

Μέτρησε το ύψος του ειδώλου.

Είναι.....

Ποια είναι η σχέση των δύο υψών που μέτρησες;

.....

.....

Παρατήρησε το είδωλο της δεξιάς πλευράς του αντικειμένου.

Φαίνεται σαν δεξιά πλευρά του ειδώλου ή σαν αριστερή;

.....



Προσομοίωση:  
Χαρακτηριστικά του  
ειδώλου σε επίπεδο  
κάτοπτρο.



- Η απόσταση του ειδώλου από το κάτοπτρο είναι ..... με την απόσταση του αντικειμένου από το κάτοπτρο.
- Το είδωλο έχει το ..... μέγεθος με το μέγεθος του αντικειμένου.
- Η δεξιά πλευρά του αντικειμένου φαίνεται σαν ..... πλευρά του ειδώλου και το αντίστροφο (κατοπτρισμός).



## Τα χαρακτηριστικά του ειδώλου σε σχέση με αυτά του αντικειμένου

Το είδωλο ενός αντικειμένου σε επίπεδο κάτοπτρο βρίσκεται σε ίση απόσταση με την απόσταση του αντικειμένου από το κάτοπτρο και έχει το ίδιο μέγεθος με το αντικείμενο, αλλά σχηματίζεται **κατοπτρικά** (δεξι-αριστερό).

Ο εγκέφαλός μας δεν «βλέπει» την πορεία του φωτός από το αντικείμενο μέσω της ανάκλασης στον καθρέφτη προς τα μάτια μας, αλλά αντιλαμβάνεται το φως να διαδίδεται ευθύγραμμα (απευθείας) από το είδωλο του αντικειμένου, που είναι πίσω από τον καθρέφτη, προς τα μάτια μας.

Το είδωλο ενός αντικειμένου σε επίπεδο κάτοπτρο σχηματίζεται πάντοτε από τις **προεκτάσεις των ανακλώμενων ακτίνων** στην ανακλαστική επιφάνεια του κατόπτρου (οι ακτίνες δεν μπορούν να διαπεράσουν την ανακλαστική επιφάνεια του κατόπτρου). Επομένως το είδωλο καθώς σχηματίζεται από τις προεκτάσεις των ανακλώμενων ακτίνων είναι πάντοτε **φανταστικό**. Το φανταστικό είδωλο δεν μπορεί να σχηματιστεί πάνω σε μια επιφάνεια (πέτασμα) που θα βρισκόταν πίσω από το κάτοπτρο. Άλλωστε δεν περνάει φως από το κάτοπτρο. Αν το είδωλο σχηματιζόταν από τις ανακλώμενες ακτίνες, τότε θα ήταν πραγματικό και θα μπορούσε να σχηματιστεί πάνω σε μια επιφάνεια.



Εικόνα 3.1.13: Ανάκλαση σε επίπεδο καθρέφτη.

### Πώς να σχεδιάσεις το είδωλο ενός αντικειμένου σε επίπεδο κάτοπτρο

Όταν θέλεις να σχεδιάσεις το είδωλο ενός αντικειμένου αρκεί:

- να σχεδιάσεις την πορεία δύο ακτίνων από κάθε χαρακτηριστικό σημείο του αντικείμενου προς το κάτοπτρο.
- να σχεδιάσεις και την πορεία των αντίστοιχων δύο ανακλώμενων ακτίνων από το κάτοπτρο, σύμφωνα με τους νόμους της ανάκλασης. Στο σημείο τομής των δύο ανακλώμενων ακτίνων σχηματίζεται το σημειακό είδωλο του χαρακτηριστικού σημείου του αντικειμένου.
- να ενώσεις τα σημειακά είδωλα των χαρακτηριστικών σημείων του αντικειμένου.

### Για μια συντομότερη διαδικασία σχεδιασμού κάνε τα εξής:

- σχεδίασε από κάθε χαρακτηριστικό σημείο του αντικειμένου την πορεία μιας ακτίνας κάθετης στο κάτοπτρο.
- σχεδίασε και την προέκταση της ακτίνας πίσω από το κάτοπτρο. Σε ίση απόσταση από το κάτοπτρο με την απόσταση του σημείου του αντικειμένου σχηματίζεται το σημειακό είδωλο του αντίστοιχου σημείου του αντικειμένου.
- ένωσε τα σημειακά είδωλα των χαρακτηριστικών σημείων του αντικειμένου.

## II) Σφαιρικά κάτοπτρα – είδωλα σφαιρικών κατόπτρων

### Πρακτική δραστηριότητα



Το είδωλο ενός αντικειμένου σε κουτάλι είναι πάντοτε όρθιο;



**Κράτησε ένα κουτάλι με το κυρτό μέρος του** (το πίσω μέρος του) προς το πρόσωπό σου έχοντας το χέρι σου τεντωμένο.

Παρατήρησε το είδωλο του προσώπου σου; Είναι όρθιο ή αντεστραμμένο;

.....

**Κράτησε το κουτάλι με το κοίλο μέρος του** (το εσωτερικό του) προς το πρόσωπό σου και σε μεγάλη απόσταση από το πρόσωπό σου έχοντας το χέρι σου τεντωμένο.

Παρατήρησε το είδωλο του προσώπου σου; Είναι όρθιο ή αντεστραμμένο;

.....

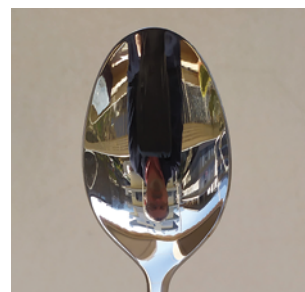
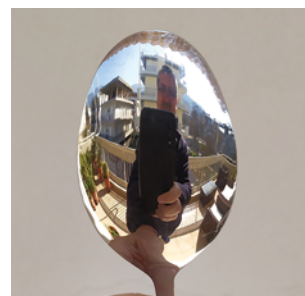
Παρατήρησε το είδωλο του αντίχειρά σου μέσα στο κουτάλι. Αρχικά από μεγάλη απόσταση πλησιάζοντάς τον στη συνέχεια κοντά στο κουτάλι.

Πώς φαίνεται το είδωλο του αντίχειρά σου; Είναι συνεχώς αντεστραμμένο;



Το είδωλο ενός αντικειμένου που σχηματίζεται από το ..... μέρος του κουταλιού είναι πάντα .....

Το είδωλο ενός αντικειμένου που σχηματίζεται από το ..... μέρος του κουταλιού είναι ..... όταν βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση και ..... όταν βρίσκεται πολύ κοντά στο κουτάλι.



Εικόνα 3.1.14: Είδωλα σε σφαιρικά κάτοπτρα.



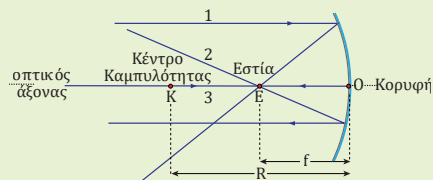
Τα σφαιρικά κάτοπτρα διακρίνονται, αναλόγως της πλευράς της σφαιρικής επιφάνειας που είναι η ανακλαστική επιφάνεια στην οποία προσπίπτουν οι φωτεινές ακτίνες, σε:

- **κοίλα** σφαιρικά κάτοπτρα και
- **κυρτά** σφαιρικά κάτοπτρα.

Τα σφαιρικά κάτοπτρα είναι τμήματα μιας σφαιρικής επιφάνειας.

### Γεωμετρικά χαρακτηριστικά των σφαιρικών κατόπτρων

- **Κέντρο Καμπυλότητας (K)** είναι το κέντρο της σφαιρικής επιφάνειας, τμήμα της οποίας είναι το κάτοπτρο.
- **Ακτίνα Καμπυλότητας (R)** είναι η ακτίνα της σφαιρικής επιφάνειας.
- **Κορυφή (O)**.
- **Κύριος Οπτικός Άξονας** είναι η ευθεία που διέρχεται από το κέντρο καμπυλότητας (K) και την κορυφή (O). Ο κύριος οπτικός άξονας είναι άξονας συμμετρίας του κατόπτρου.



Εικόνα 3.1.15: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά σφαιρικών κατόπτρων και πορεία χαρακτηριστικών ακτίνων.

- **Εστία (E)** είναι το σημείο του κύριου οπτικού άξονα όπου συναντώνται οι ακτίνες μιας φωτεινής δέσμης που είναι παράλληλες στον κύριο οπτικό άξονα, μετά την ανάκλασή τους στο σφαιρικό κάτοπτρο.
- **Εστιακή απόσταση f** είναι η απόσταση της εστίας (E) από την κορυφή (O) του κατόπτρου. Ισχύει:

$$f = \frac{R}{2} \quad (3.1.2)$$

Το **είδωλο** ενός αντικειμένου που σχηματίζεται από ένα **κυρτό** κάτοπτρο είναι πάντα **όρθιο**.

Το **είδωλο** ενός αντικειμένου που σχηματίζεται από ένα **κοίλο** κάτοπτρο όταν βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση είναι **αντεστραμμένο**. Όταν το αντικείμενο βρεθεί σε **απόσταση μικρότερη από την εστιακή** του απόσταση, τότε το είδωλό του είναι **όρθιο**.



## Διεπιστημονικές – Διαθεματικές Εφαρμογές της Θεωρίας, Γενίκευση, Εμπέδωση, Ερμηνείες με τον μικρόκοσμο

### 1. Εκλείψεις (οι διάσημες σκιές)

Η διάμετρος του Ήλιου είναι περίπου 400 φορές μεγαλύτερη από τη διάμετρο της Σελήνης. Η μέση απόσταση Ήλιου-Γης είναι μεγαλύτερη περίπου 400 φορές από τη μέση απόσταση Σελήνης-Γης. Λόγω αυτής της σύμπτωσης η γωνία υπό την οποία φαίνεται ο δίσκος τους στην ουράνια σφαίρα είναι ίδια από τη Γη (περίπου 0,5°). Είναι τόσο μικρή αυτή η γωνία που έχοντας το χέρι σου τεντωμένο, μπορείς να καλύψεις με το μικρό σου δάκτυλο τον δίσκο της Σελήνης. Θα μπορούσε κάποιος να καλύψει με τον ίδιο τρόπο και τον δίσκο του Ήλιου.

**Προσοχή!** Ποτέ **δεν κοιτάμε τον Ήλιο** με ακάλυπτα μάτια καθώς μπορεί να προκαλέσει βλάβη στα μάτια και απώλεια της όρασης. Μπορούμε να παρατηρήσουμε τον Ήλιο **μόνο μέσω ειδικών φίλτρων**. Οι πρόχειρες λύσεις, π.χ. μαυρίζοντας με καπνιά μια γυάλινη επιφάνεια, δεν παρέχουν ασφαλή παρατήρηση του Ήλιου.

- **Έκλειψη Ήλιου.** Όταν η Σελήνη, καθώς περιφέρεται γύρω από τη Γη ευθυγραμμιστεί ανάμεσα στον Ήλιο και τη Γη, είναι δυνατόν να καλύψει τον ηλιακό δίσκο. Τότε από κάποια σημεία της επιφάνειας της Γης που βρίσκονται στη σκιά της Σελήνης ο Ήλιος δεν είναι ορατός. Προκαλείται έτσι **έκλειψη Ήλιου**. Στα σημεία της Γης που βρίσκονται στη σκιά της Σελήνης η έκλειψη είναι **ολική**.



Εικόνα 3.1.16: Σχηματική αναπαράσταση της έκλειψης του Ήλιου.

<https://science.nasa.gov/eclipses/future-eclipses/eclipse-2024/>

Στα σημεία της Γης που βρίσκονται στην παρασκιά της Σελήνης, η έκλειψη είναι **μερική**.

Η **δακτυλιοειδής** έκλειψη Ήλιου οφείλεται στο ότι ορισμένες φορές ο δίσκος της Σελήνης δεν καλύπτει πλήρως τον δίσκο του Ήλιου. Αυτό συμβαίνει επειδή οι τροχιές της Σελήνης και της Γης είναι ελλειπτικές, οπότε οι αποστάσεις της Σελήνης και του Ήλιου δεν είναι σταθερές.

- **Έκλειψη Σελήνης.** Όταν η Σελήνη καθώς περιφέρεται γύρω από τη Γη ευθυγραμμιστεί με τον Ήλιο αλλά με τη Γη ανάμεσά τους, η σκιά της Γης είναι δυνατόν να καταστήσει άορατη τη Σελήνη από κάποια σημεία της



Εικόνα 3.1.17: Σχηματική αναπαράσταση της έκλειψης της Σελήνης.

επιφάνειας της Γης προκαλώντας έτσι έκλειψη Σελήνης. Καθώς η Σελήνη βρίσκεται μέσα στη σκιά της Γης η έκλειψη είναι **ολική**. Όταν η Σελήνη βρίσκεται στην παρασκιά της Γης, η έκλειψη της Σελήνης είναι **μερική**.

Το επίπεδο περιφοράς της Σελήνης γύρω από τη Γη δεν ταυτίζεται με το επίπεδο περιφοράς της Γης γύρω από τον Ήλιο. Τα δύο αυτά επίπεδα σχηματίζουν γωνία περίπου  $5^\circ$  ανάμεσά τους. Αν τα δύο αυτά επίπεδα ταυτίζονταν, ο Ήλιος, η Γη και η Σελήνη θα ευθυγραμμίζονταν 2 φορές κάθε μήνα, οπότε θα συνέβαινε έκλειψη Ηλίου και Σελήνης από μια φορά κάθε μήνα.

## 2. Εξέλιξη των ιδεών στη Φυσική για τη διάδοση και τις ιδιότητες του φωτός

- Ο **Newton** (Νεύτωνας, 1643-1727) υποστήριξε την άποψη ότι το φως αποτελείται από **σωματίδια** που κινούνται με πολύ μεγάλη ταχύτητα.
- Ο **Huygens** (Χόιχενς, 1629-1695) διατύπωσε την άποψη ότι το φως είναι **κυματική διάδοση ενέργειας**.
- Ο **Young** (Γιανγκ, 1773-1829) με πειράματα επιβεβαίωσε την κυματική φύση του φωτός.
- Ο **Maxwell** (Μάξγουελ, 1831-1879) με την **ηλεκτρομαγνητική θεωρία** του καθιέρωσε την άποψη για την κυματική φύση του φωτός.
- Ο **Hertz** (Χερτς, 1857-1894) παρήγαγε ηλεκτρομαγνητικά κύματα.
- Όμως ορισμένα φυσικά φαινόμενα, όπως η ακτινοβολία του μέλανος σώματος, το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και το φαινόμενο Compton δεν μπόρεσαν να εξηγηθούν με την κλασική ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Maxwell για την κυματική φύση του φωτός. Τα φαινόμενα αυτά έγινε δυνατόν να ερμηνευτούν με την κβαντική θεωρία.
- Ο **Plank** (Πλανκ, 1858-1947) ερμηνεύοντας την ακτινοβολία του μέλανος σώματος και ο **Einstein** (Αϊνστάιν, 1879-1955), εξηγώντας το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, υποστήριξαν ότι το φως αποτελείται από σωματίδια μέσω των οποίων μεταφέρονται ποσά ενέργειας.



Χρονογραμμή: Εξέλιξη των ιδεών για το φως.

Κάποια φαινόμενα, όπως η συμβολή, η περίθλαση και η πόλωση τα ερμηνεύουμε θεωρώντας ότι το φως συμπεριφέρεται σαν κύμα. Κάποια άλλα φαινόμενα, όπως το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και το φαινόμενο Compton τα ερμηνεύουμε θεωρώντας ότι το φως συμπεριφέρεται σαν σωματίδιο. Στην προσπάθεια της ερμηνείας των φαινομένων που σχετίζονται με το φως και με βάση την κλασική μας εμπειρία αντιλαμβανόμαστε ότι το φως εμφανίζει μια διττή, κυματοσωματιδιακή, υπόσταση έχοντας χαρακτηριστικά σωματιδίου και κύματος. Το φως όμως, σύμφωνα με την κβαντική φυσική δεν είναι και κύμα και σωματίδιο, είναι απλώς φωτόνια, δηλαδή «κβαντικές οντότητες» που η συμπεριφορά τους είναι ασυνήθιστη ώστε να δυσκολευόμαστε να την κατανοήσουμε σύμφωνα με την εμπειρία μας από την κλασική Φυσική.

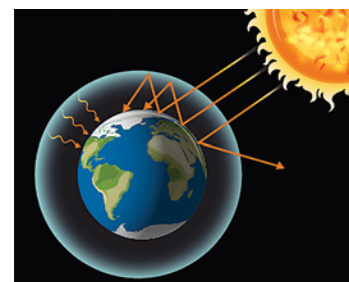
*Σχόλιο: Κάποια από τα παραπάνω φαινόμενα θα μελετηθούν σε μεγαλύτερη σχολική τάξη.*

## 4. Λευκαύγεια (Albedo)

Ο Ήλιος εκπέμπει ακτινοβολία ένα μέρος της οποίας προσπίπτει στη Γη. Ένα ποσοστό της ακτινοβολίας απορροφάται από τη Γη και το υπόλοιπο ανακλάται από αυτήν. Το ποσοστό (%) της ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται από τη Γη σε σχέση με την προσπίπτουσα ονομάζεται **λευκαύγεια** ή **albedo** (η λέξη albus στα λατινικά σημαίνει λευκό).

Όταν η λευκαύγεια έχει μεγάλη τιμή, η Γη ανακλά περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία στο διάστημα και έτσι γίνεται λίγο ψυχρότερη και αντιστρόφως, όταν η λευκαύγεια είναι μικρότερη, η Γη απορροφά περισσότερο ηλιακό φως και γίνεται θερμότερη.

Η μέση τιμή της λευκαύγειας της Γης είναι περίπου 30%. Η τιμή εξαρτάται κάθε χρονική στιγμή από το ποιο μέρος της Γης βλέπει ο Ήλιος. Άλλο ποσοστό ακτινοβολίας ανακλάται από τους ωκεανούς και άλλο ποσοστό από τη



**Εικόνα 3.1.18:** Σχηματική αναπαράσταση του ηλιακού φωτός που απορροφάται και ανακλάται από τη Γη.

στεριά. Η μέση τιμή της λευκαύγειας μεταβάλλεται με τις εποχές (μεγαλύτερη είναι η τιμή τον Μάρτιο και μικρότερη τον Ιούλιο). Οι ακριβείς μετρήσεις της λευκαύγειας της Γης παίζουν σημαντικό ρόλο στην κατανόηση του κλίματος της Γης.

Η Γη, όπως προκύπτει από πρόσφατες μετρήσεις, ανακλά λιγότερη ηλιακή ακτινοβολία σε σχέση με πριν από λίγα χρόνια. Η μείωση της λευκαύγειας της Γης συνεπάγεται αύξηση της απορροφούμενης ηλιακής ενέργειας, η οποία συμβάλλει στην αύξηση της θερμοκρασίας της Γης.



Προσομίωση: Αρχή του Fermat στην ανάκλαση

### 5. Αρχή ελαχίστου χρόνου ή αρχή του Fermat (Φερμά)

Όταν το φως διαδίδεται σε ένα ομογενές μέσο από ένα σημείο σε κάποιο άλλο σημείο μέσω ανάκλασης, κινούμενο ευθύγραμμο, ακολουθεί τη **συντομότερη χρονικά διαδρομή**. Την αρχή αυτή τη διατύπωσε ο Γάλλος Pierre Fermat (Φερμά) το 1662.

### 6. Τι κάτοπτρο θα χρησιμοποιήσεις ώστε να μεγαλώσεις το οπτικό σου πεδίο;

Αν θέλεις να μεγαλώσεις το οπτικό σου πεδίο μέσω ενός κατόπτρου χρησιμοποίησε ένα κυρτό σφαιρικό κάτοπτρο. Αυτό συμβαίνει γιατί οι ανακλώμενες ακτίνες από το κυρτό κάτοπτρο αποκλίνουν.

Στις διασταυρώσεις δρόμων που δεν έχουν καλή ορατότητα τοποθετούμε κυρτά σφαιρικά **κάτοπτρα διασταυρώσεων** και έτσι μεγαλώνοντας το οπτικό πεδίο μπορούμε να ελέγχουμε την κυκλοφορία των οχημάτων στους δρόμους της διασταύρωσης.

Οι **καθρέφτες των αυτοκινήτων**, οι δύο εξωτερικοί αλλά και ο εσωτερικός, είναι κυρτοί σφαιρικοί ώστε ο οδηγός μέσω του μεγαλύτερου οπτικού πεδίου που προσφέρουν να ελέγχει καλύτερα τι βρίσκεται στο πίσω μέρος του αυτοκινήτου του. Οι κυρτοί καθρέφτες έχουν βέβαια το μειονέκτημα ότι τα είδωλα που σχηματίζουν φαίνονται μικρότερα και σε μικρότερη απόσταση από την κανονική οπότε χρειάζεται σωστή κρίση (για την απόσταση και το μέγεθος των αντικειμένων) από τον οδηγό.

Κυρτά κάτοπτρα χρησιμοποιούνται επίσης και στην αντικλεπτική επιτήρηση των καταστημάτων αλλά και την επόπτευση του χώρου πίσω από έναν πολίτη που εξυπηρετείται από ένα μηχάνημα ATM.



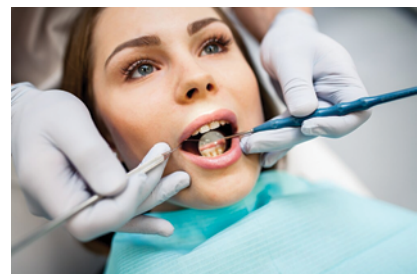
Εικόνα 3.1.19: Κυρτό κάτοπτρο, σε διασταύρωση δρόμων.

### 7. Τι κάτοπτρο θα χρησιμοποιήσεις ώστε να μεγαλώσεις το μέγεθος του ειδώλου;

Αν θέλεις να φαίνεται μεγαλύτερο το μέγεθος του ειδώλου που σχηματίζεται σε σχέση με το μέγεθος του αντικειμένου χρησιμοποίησε ένα κοίλο σφαιρικό κάτοπτρο, τοποθετώντας το αντικείμενο κοντά στο κοίλο κάτοπτρο (σε απόσταση μικρότερη από την εστιακή απόσταση του κοίλου κατόπτρου).

Ο καθρέφτης που χρησιμοποιούμε για να παρατηρήσουμε λεπτομέρειες στο πρόσωπό μας κατά τον καλλωπισμό του, ώστε το είδωλο του προσώπου μας να φαίνεται μεγαλύτερο, είναι κοίλος σφαιρικός καθρέφτης. Αρκεί βέβαια το πρόσωπό μας να βρίσκεται στην κατάλληλη θέση, δηλαδή μεταξύ της Εστίας και του καθρέφτη. Για να συμβεί αυτό οι κοίλοι **καθρέφτες καλλωπισμού** έχουν μεγάλη ακτίνα καμπυλότητας και φαίνονται σχεδόν επίπεδοι.

Το **εργαλείο οδοντιάτρου** (εικόνα 3.1.20) χρησιμοποιείται ώστε οι οδοντίατροι να μεγεθύνουν την εικόνα των δοντιών εντός της στοματικής κοιλότητας, φέρνοντάς το στην κατάλληλη απόσταση (κοντά στα δόντια), είναι ένα κοίλο σφαιρικό κάτοπτρο.



Εικόνα 3.1.20: Κοίλο κάτοπτρο, εργαλείο οδοντιάτρου.

	<p><b>Ιδιοκατασκευή Κατασκευή Περισκοπίου</b> Ακολούθησε τις οδηγίες και κατασκεύασε ένα περισκόπιο με καθρέφτες.</p>	
	<p><b>Ο υπολογισμός της ακτίνας της Γης από τον Ερατοσθένη.</b></p>	
	<p><b>Οι φάσεις της Σελήνης.</b></p>	

**Διασκεδαστική δράση**  
Πολλαπλά είδωλα από ένα αντικείμενο με 2 μόνο καθρέφτες.

**Έτος φωτός**, μια μεγάλη μονάδα μήκους.

**Μέτρηση της απόστασης της Σελήνης από τη Γη.**

Εννοιολογικός Χάρτης



Ενότητα 3.1

### Ερωτήσεις

1. Συμπλήρωσε τα κενά στις παρακάτω προτάσεις με τις κατάλληλες λέξεις-όρους.
  - i. Τα αντικείμενα που βλέπουμε επειδή φωτίζονται από φωτεινές πηγές ονομάζονται ..... σώματα.
  - ii. Τα αντικείμενα που βλέπουμε επειδή είναι φωτεινές πηγές ονομάζονται ..... σώματα.
  - iii. Στις πηγές φωτός κάποια μορφή ενέργειας μετατρέπεται σε ..... ενέργεια.
  - iv. Φως είναι ροή ..... το καθένα από τα οποία είναι ένα κβάντο ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας.
2. Ποια από τα παρακάτω σώματα είναι Αυτόφωτα (γράψε δίπλα το γράμμα Α) και ποια είναι Ετερόφωτα (γράψε δίπλα το γράμμα Ε).
  - i. Σελήνη
  - ii. Πλανήτης Δίας
  - iii. Betelgeuse (Μπετελγκεζ), αστέρι στον αστερισμό του Ωρίωνα.
  - iv. «Πεφταστέρι» από τη βροχή των Περσειδων (βροχή διάττοντων αστερων που κορυφώνεται κάθε χρόνο στις 12 με 13 Αυγούστου)

**3. Γράψε το γράμμα (Σ) στο τέλος κάθε πρότασης που είναι σωστή και το γράμμα (Λ) στο τέλος κάθε πρότασης που είναι λανθασμένη.**

- i. Όταν η φωτεινή πηγή είναι μικρών διαστάσεων, τότε πίσω από τα αντικείμενα σχηματίζεται σκιά και παρασκιά.
- ii. Όταν η φωτεινή πηγή είναι μεγάλων διαστάσεων, τότε πίσω από τα αντικείμενα σχηματίζεται μόνο σκιά και καθόλου παρασκιά.
- iii. Το φως διαδίδεται ευθύγραμμα.
- iv. Η σκιά που δημιουργείται πίσω από τα αντικείμενα οφείλεται στο ότι το φως διαδίδεται με πολύ μεγάλη ταχύτητα.
- v. Η σκιά που δημιουργείται πίσω από τα αντικείμενα οφείλεται στο ότι το φως διαδίδεται ευθύγραμμα.

**4. Γράψε το γράμμα (Σ) στο τέλος κάθε πρότασης που είναι σωστή και το γράμμα (Λ) στο τέλος κάθε πρότασης που είναι λανθασμένη.**

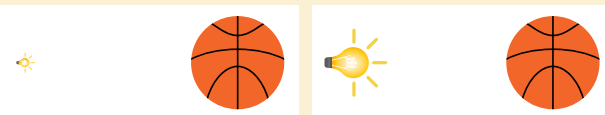
- i. Έκλειψη Σελήνης συμβαίνει όταν η Σελήνη βρεθεί ανάμεσα στον Ήλιο και τη Γη.
- ii. Έκλειψη Ηλίου συμβαίνει όταν η Γη βρεθεί μέσα στη σκιά της Σελήνης.
- iii. Έκλειψη Σελήνης συμβαίνει όταν η Σελήνη βρεθεί μέσα στη σκιά της Γης.

**5. Επίλεξε ποια από τις επόμενες προτάσεις είναι η σωστή.**

Η ταχύτητα διάδοσης του φωτός στο κενό είναι προσεγγιστικά:

- i.  $c = 300 \text{ Km/h}$
- ii.  $c = 300.000 \text{ Km/h}$
- iii.  $c = 300.000 \text{ Km/s}$

**6. Σχεδίασε την πορεία των ακτίνων φωτός από τις φωτεινές πηγές σε κάθε περίπτωση. Τι σχηματίζεται πίσω από το αντικείμενο σε καθεμιά από τις παρακάτω περιπτώσεις;**



**7. Συμπλήρωσε τα κενά στις παρακάτω προτάσεις με τις κατάλληλες λέξεις-όρους.**

- α) Η γωνία πρόσπτωσης είναι ..... με τη γωνία ανάκλασης.
- β) Όταν η επιφάνεια στην οποία προσπίπτει το φως είναι τραχιά, συμβαίνει ..... ανάκλαση.
- γ) Όταν η επιφάνεια στην οποία προσπίπτει το φως είναι ..... συμβαίνει κατοπτρική ανάκλαση.
- δ) Το είδωλο που σχηματίζεται σε ένα επίπεδο καθρέφτη έχει ..... μέγεθος με το αντικείμενο που βρίσκεται μπροστά από τον καθρέφτη.
- ε) Το είδωλο που σχηματίζεται σε ένα επίπεδο καθρέφτη είναι σε ..... απόσταση από τον καθρέφτη με την απόσταση του αντικείμενου που βρίσκεται μπροστά από τον καθρέφτη.
- στ) Το είδωλο που σχηματίζεται σε ένα επίπεδο καθρέφτη είναι ..... καθώς σχηματίζεται από τις προεκτάσεις των ανακλώμενων στον καθρέφτη ακτίνων.

**8. Γράψε το γράμμα (Σ) στο τέλος κάθε πρότασης που είναι σωστή και το γράμμα (Λ) στο τέλος κάθε πρότασης που είναι λανθασμένη.**

- i. Σύμφωνα με την αρχή του ελάχιστου χρόνου για τη διάδοση του φωτός σε ομογενές οπτικό μέσο, η διαδρομή που απαιτεί τον ελάχιστο χρόνο είναι αυτή που έχει και το μικρότερο μήκος.
- ii. Λόγω της διάχυτης ανάκλασης μπορούμε να βλέπουμε τα αντικείμενα όταν φωτίζονται.

**9. Συμπλήρωσε τα κενά στις παρακάτω προτάσεις με τις κατάλληλες λέξεις-όρους.**

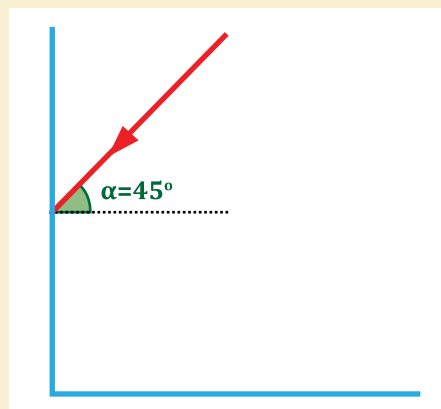
- α) Το είδωλο ενός αντικειμένου σε ένα κυρτό κάτοπτρο είναι πάντοτε .....
- β) Το είδωλο ενός αντικειμένου σε ένα κοίλο κάτοπτρο είναι ..... όταν το αντικείμενο βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση.
- γ) Το είδωλο ενός αντικειμένου σε ένα κοίλο κάτοπτρο είναι ..... όταν το αντικείμενο βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη από την εστιακή απόσταση του κατόπτρου.

10. Γράψε το γράμμα (Σ) στο τέλος κάθε πρότασης που είναι σωστή και το γράμμα (Λ) στο τέλος κάθε πρότασης που είναι λανθασμένη.

- i. Το είδωλο ενός αντικειμένου σε ένα κοίλο κάτοπτρο είναι πάντοτε φανταστικό.
- ii. Το είδωλο ενός αντικειμένου σε ένα κοίλο κάτοπτρο είναι πάντοτε αντεστραμμένο.
- iii. Όταν χρειαζόμαστε έναν καθρέφτη ώστε το είδωλο που θα σχηματιστεί να είναι μεγαλύτερο και όρθιο (π.χ. για καλλωπισμό), θα χρησιμοποιήσουμε έναν κοίλο καθρέφτη.
- iv. Όταν χρειαζόμαστε έναν καθρέφτη ώστε να μεγαλώσουμε το οπτικό πεδίο παρατήρησης (π.χ. στις διασταυρώσεις δρόμων) θα χρησιμοποιήσουμε έναν κυρτό καθρέφτη.

### Ασκήσεις

1. Πόση γωνία πρέπει να σχηματίζουν οι ακτίνες του Ήλιου σε σχέση με το έδαφος ώστε η σκιά ενός δέντρου να έχει μήκος ίσο με το ύψος του; Δίνεται  $\epsilon\phi 45^\circ = 1$ .
2. Μια λεπτή δέσμη φωτός (φωτεινή ακτίνα) προσπίπτει σε έναν επίπεδο καθρέφτη με γωνία  $\phi = 30^\circ$  ως προς την επιφάνεια του καθρέφτη.
  - α) Να σχεδιάσεις την προσπίπτουσα και την ανακλώμενη ακτίνα φωτός.
  - β) Να υπολογίσεις τη γωνία πρόσπτωσης και τη γωνία ανάκλασης.
  - γ) Να υπολογίσεις τη γωνία μεταξύ προσπίπτουσας και ανακλώμενης ακτίνας.
3. Σχεδίασε την πορεία της ακτίνας μετά τις διαδοχικές ανακλάσεις που θα υποστεί από τους δύο επίπεδους καθρέφτες που είναι κάθετοι μεταξύ τους.
  - α) Τι παρατηρείς για την πορεία της ανακλώμενης ακτίνας από τον δεύτερο καθρέφτη σε σχέση με την πορεία της προσπίπτουσας ακτίνας στον πρώτο καθρέφτη;
  - β) Τι καταφέρνουμε με μια τέτοια διάταξη καθρεφτών;



### Προβλήματα

1. Γνωρίζοντας ότι η μέση απόσταση μεταξύ Ήλιου και Γης είναι περίπου 150 εκατομμύρια Km και ότι η ταχύτητα διάδοσης του φωτός στο κενό είναι προσεγγιστικά  $c = 300.000 \text{ Km/s}$ , να υπολογίσεις τον χρόνο που χρειάζεται το φως του Ήλιου να φτάσει στη Γη.
2. Γνωρίζοντας ότι η ταχύτητα διάδοσης του φωτός στο κενό είναι προσεγγιστικά  $c = 300.000 \text{ Km/s}$ , να υπολογίσεις τη μέση απόσταση Γης και Σελήνης, αν ο μέσος χρόνος που χρειάζεται το φως να φτάσει από τη Σελήνη στη Γη είναι 1,28 s.

Επιπλέον  
Υλικό

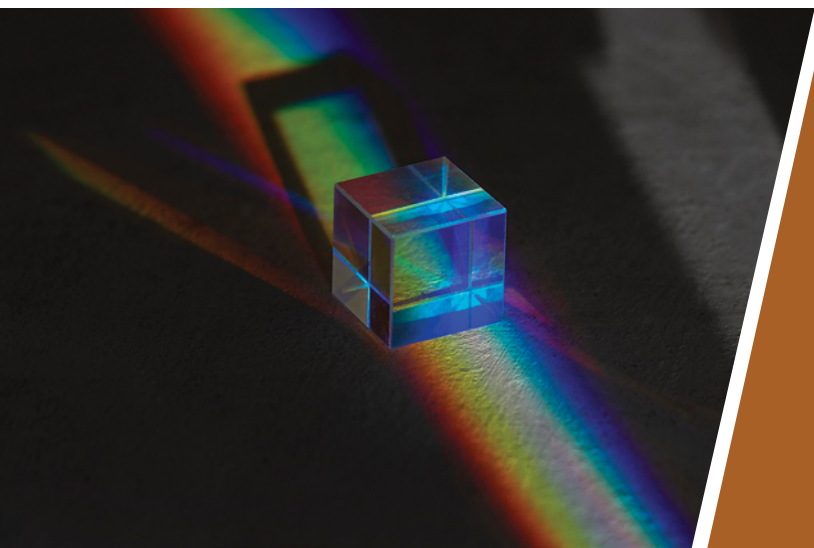


Ανάκλαση φωτός.



Διάδοση φωτός.

## 3.2 Διάθλαση και εφαρμογές



### Μετά από αυτή την ενότητα θα είσαι σε θέση να:

1. αναφέρεις τους νόμους της διάθλασης και να τους διαπιστώνεις πειραματικά.
2. σχεδιάζεις την πορεία φωτεινών ακτίνων καθώς το φως περνά τη διαχωριστική επιφάνεια δύο οπτικών μέσων με αξιοποίηση των νόμων της διάθλασης.
3. ερμηνεύεις φαινόμενα που σχετίζονται με τη διάθλαση του φωτός όπως ο αντικατοπτρισμός και η φαινόμενη ανύψωση.
4. αναφέρεις βασικές εφαρμογές των φακών.
5. ερμηνεύεις την ανάλυση του φωτός με την εξάρτηση του δείκτη διάθλασης από το χρώμα.
6. αναφέρεις τη λειτουργία του οφθαλμού και τη διόρθωση παθήσεων με τη χρήση φακών.



Εικόνα 3.2.1: «Σπασμένο» στυλό.



Εικόνα 3.2.2: «Ακέφαλος» κολυμβητής.



Εικόνα 3.2.3: Ουράνιο τόξο.



Για τις δραστηριότητες της παραγράφου αυτής θα χρειαστούν:

Laser pointer (δείκτης laser), πράσινο laser, ορθογώνιο πλακίδιο plexiglas (πλεξιγκλάς), χαρτόνι, ημικύλινδρος από plexiglas ή γυαλί, κούφιος ημικύλινδρος, γωνιομετρικός δίσκος, πίνακας τριγωνομετρικών αριθμών, γυάλινο δοχείο με νερό, γυάλινο πρίσμα, συγκλίνων φακός, μπαλόνι, πλαστικό μπουκάλι 1,5L, καρφί, κολλητική ταινία, ψεκαστήρας νερού, λάστιχο ποτίσματος.

### Ας αναρωτηθούμε

1. Γιατί ένα καλαμάκι ή ένα στυλό που είναι βυθισμένο σε νερό φαίνεται σπασμένο και πιο παχύ;
2. Γιατί ενώ είμαστε μέσα στο θαλασσινό νερό και κοιτάμε λοξά προς τα έξω, από κάποια γωνία και μετά, δεν μπορούμε να δούμε έξω από το νερό καθώς η επιφάνειά του είναι σαν καθρέφτης;
3. Πώς δημιουργείται το ουράνιο τόξο; Γιατί δεν το βλέπουμε κάθε φορά που βρέχει;



## Όταν το φως αλλάζει μέσο διάδοσης

### Πρακτική δραστηριότητα:



Όταν μια ακτίνα φωτός προσπέσει υπό γωνία στη διαχωριστική επιφάνεια δύο οπτικών μέσων, θα συνεχίσει να κινείται ευθύγραμμα;

.....



**Τοποθέτησε το γυάλινο δοχείο** πάνω στο θρανίο και **βάλε** στο δοχείο **νερό** μέχρι τη μέση.

**Περίμενε** να ηρεμήσει η ποσότητα του νερού που έβαλες στο δοχείο.

**Άναψε το laser** πάνω από την επιφάνεια του νερού, ώστε η δέσμη φωτός να προσπέσει κάθετα στη διαχωριστική επιφάνεια αέρα-νερού.

Διαδίδεται η δέσμη φωτός μέσα στο νερό;

.....

Τι παρατηρείς σχετικά με την πορεία διάδοσης του φωτός στον αέρα και στο νερό;

.....

.....

.....

**Στρίψε το laser** ώστε η δέσμη φωτός να προσπέσει υπό γωνία στη διαχωριστική επιφάνεια αέρα-νερού.

Τι παρατηρείς σχετικά με την πορεία διάδοσης του φωτός στο νερό σε σχέση με την πορεία του στον αέρα;

.....

.....

.....

Παρατήρησε τη δέσμη φωτός που προσπίπτει στη διαχωριστική επιφάνεια.

Εισέρχεται όλη η δέσμη στο νερό ή ένα μέρος της ανακλάται στη διαχωριστική επιφάνεια;

.....

Η ένταση της ανακλώμενης ακτίνας είναι ίδια με την ένταση της εισερχόμενης ακτίνας στο νερό;

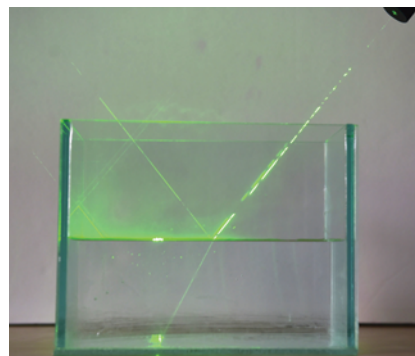
.....



Όταν μια δέσμη φωτός προσπέσει ..... στη διαχωριστική επιφάνεια δύο οπτικών μέσων, συνεχίζει την ..... πορεία της.

Όταν μια δέσμη φωτός προσπέσει υπό ..... στη διαχωριστική επιφάνεια δύο οπτικών μέσων, δεν συνεχίζει να κινείται ευθύγραμμα, αλλά αλλάζει πορεία.

Η ένταση της ανακλώμενης ακτίνας στην επιφάνεια του νερού είναι ....  
..... σε σχέση με την ένταση της εισερχόμενης ακτίνας στο νερό.



Εικόνα 3.2.4: Διάθλαση laser από αέρα σε νερό.



Βίντεο 3.2.1: Ακτίνα laser αλλάζει μέσο διάδοσης.



## Διάθλαση

Όταν μια δέσμη φωτός προσπέσει υπό γωνία στη λεία διαχωριστική επιφάνεια δύο οπτικών μέσων, ένα μέρος του φωτός ανακλάται και το υπόλοιπο εισέρχεται στο δεύτερο οπτικό μέσο, αλλάζοντας την πορεία του.

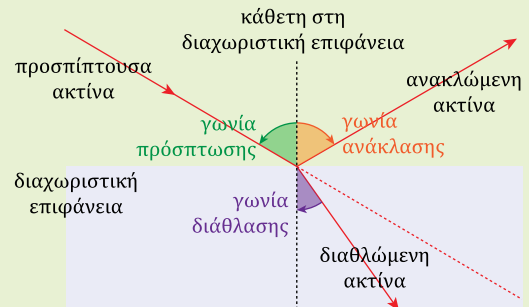
Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **διάθλαση**, [διάθλαση = σπάσιμο (θλάω - θλώ (αρχ.) = σπάζω)].

Η ακτίνα του φωτός που εισέρχεται στο δεύτερο μέσο (ονομάζεται **διαθλώμενη ακτίνα**) σχηματίζει με την κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο μέσων γωνία που ονομάζεται **γωνία διάθλασης**,  $\delta$ .

Για μικρές γωνίες πρόσπτωσης το περισσότερο φως διαθλάται παρά ανακλάται. Καθώς αυξάνεται η γωνία πρόσπτωσης η ένταση της διαθλώμενης ακτίνας μειώνεται και αυξάνεται η ένταση της ανακλώμενης ακτίνας.

Έχεις παρατηρήσει ότι όταν στέκεσαι μπροστά από μια γυάλινη βιτρίνα βλέπεις τον εαυτό σου λόγω ανάκλασης αλλά ταυτόχρονα βλέπεις και στο εσωτερικό του καταστήματος; Τότε περίπου το 10% του προσπίπτοντος φωτός στη βιτρίνα ανακλάται ενώ το υπόλοιπο 90% διαπερνά τη διαχωριστική επιφάνεια.

Όταν η ακτίνα φωτός προσπέσει κάθετα στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο οπτικών μέσων, τότε δεν αλλάζει η πορεία της. Δηλαδή δεν παρατηρείται διάθλαση του φωτός.



Εικόνα 3.2.5: Ανάκλαση και διάθλαση.



Εικόνα 3.2.6: Ανακλάσεις και διαθλάσεις σε γυάλινο πλακίδιο.

## Δείκτης διάθλασης οπτικού μέσου

Το φως, όταν διαδίδεται σε διάφορα οπτικά μέσα, αλληλεπιδρά με την ύλη με αποτέλεσμα να διαδίδεται με διαφορετική ταχύτητα στο κάθε μέσο. Σκέψου αντίστοιχα ότι και εσύ δεν μπορείς να τρέξεις το ίδιο γρήγορα στον αέρα και μέσα στο νερό της θάλασσας. Όταν το φως διαδίδεται για παράδειγμα από τον αέρα στο νερό, η ταχύτητα του φωτός μειώνεται. Λέμε ότι το νερό είναι **οπτικά πυκνότερο** μέσο από τον αέρα, ενώ όταν διαδίδεται από το γυαλί στο νερό η ταχύτητα του φωτός αυξάνεται και λέμε ότι το νερό είναι **οπτικά αραιότερο** μέσο από το γυαλί.

Το φαινόμενο της διάθλασης, δηλαδή της αλλαγής της πορείας του φωτός όταν προσπέσει υπό γωνία στη διαχωριστική επιφάνεια δύο μέσων, οφείλεται στη διαφορετική ταχύτητα διάδοσης του φωτός στα δύο οπτικά μέσα. Αν δηλαδή το φως διαδίδεται στα δύο οπτικά μέσα με την ίδια ταχύτητα, δεν θα συμβεί αλλαγή της πορείας του καθώς θα περνά από το ένα μέσο στο άλλο.

Το φυσικό μέγεθος που μετρά πόσο μικρότερη είναι η ταχύτητα διάδοσης του φωτός σε ένα οπτικό μέσο σε σχέση με την ταχύτητά του στο κενό, είναι ο δείκτης διάθλασης  $n$ . Ο δείκτης διάθλασης ορίζεται ως ο λόγος της ταχύτητας διάδοσης (για κάποιο χρώμα) του φωτός στο κενό  $c$ , προς την ταχύτητα διάδοσης του φωτός στο οπτικό μέσο  $v$ .

Δηλαδή:

$$n = \frac{c}{v} \quad (3.2.1)$$

Ο δείκτης διάθλασης του κενού είναι ίσος με 1. Ο δείκτης διάθλασης του αέρα είναι ( $\approx 1,0003$ ), αλλά συνήθως λαμβάνεται προσεγγιστικά ίσος με 1. Όσο μεγαλύτερη τιμή δείκτη διάθλασης έχει ένα οπτικό μέσο τόσο οπτικά πυκνότερο είναι.



Βίντεο 3.2.2: Γυάλινος σωλήνας βυθισμένος σε ηλιέλαιο.

υλικό	δείκτης διάθλασης n
αέρας	1,0003
νερό	1,33
λάδι	1,515
γυαλί	1,52

Η τιμή του δείκτη διάθλασης εξαρτάται από το υλικό του οπτικού μέσου αλλά και από την ενέργεια των φωτονίων της ακτινοβολίας (από το χρώμα). Δηλαδή, άλλη είναι η τιμή του δείκτη διάθλασης του νερού για μια μπλε ακτίνα φωτός και άλλη για μια κίτρινη ακτίνα φωτός ή μια κόκκινη.

	μπλε	κίτρινο	κόκκινο
n νερού	1,337	1,333	1,331

OXI

NAI



## Οι νόμοι της διάθλασης

### Πειραματική δραστηριότητα:



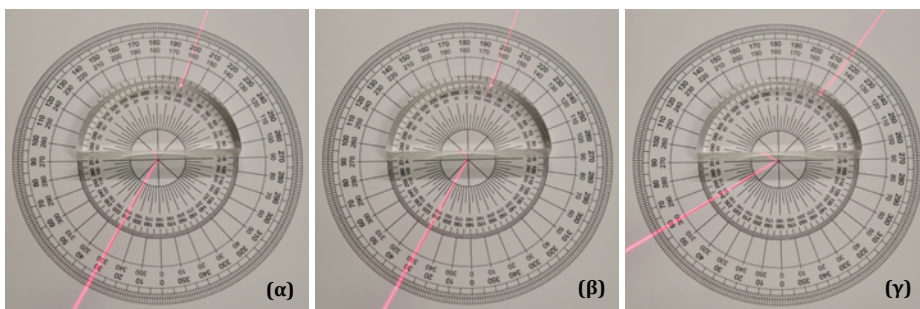
Είναι προβλέψιμη η πορεία μιας δέσμης φωτός όταν διαθλασθεί στη διαχωριστική επιφάνεια δύο οπτικών μέσων;



**Τοποθέτησε τον γωνιομετρικό δίσκο** πάνω στο θρανίο και τον ημικύλινδρο πάνω του, ώστε η επίπεδη επιφάνεια του ημικύλινδρου να συμπίπτει με τη διάμετρο του γωνιομετρικού δίσκου (που αντιστοιχεί στις γωνίες 90°-270°). Πρόσεξε ώστε το μέσο της επίπεδης επιφάνειας του ημικύλινδρου να συμπίπτει με το κέντρο του γωνιομετρικού δίσκου.

**Άναψε το laser** έτσι ώστε η δέσμη του φωτός, κινούμενη παράλληλα προς το θρανίο, να προσπέσει υπό γωνία στην επίπεδη επιφάνεια του ημικύλινδρου, σηματοδοτώντας στο κέντρο του γωνιομετρικού δίσκου.

Παρατήρησε τις ακτίνες πρόσπτωσης, ανάκλασης και διάθλασης καθώς και την κάθετη στην επίπεδη επιφάνεια του ημικύλινδρου.



Εικόνα 3.2.7: Μετρήσεις γωνιών πρόσπτωσης και διάθλασης.

Βρίσκονται όλες στο ίδιο επίπεδο;

.....

Ποια είναι η σχέση αυτού του επιπέδου με το επίπεδο της διαχωριστικής επιφάνειας;

.....

Βίντεο 3.2.3: Οι νόμοι της διάθλασης.

Επίλεξε τη γωνία πρόσπτωσης  $\pi$  ώστε να είναι  $30^\circ$ .

Μέτρησε τη γωνία διάθλασης  $\delta$  στον γωνιομετρικό δίσκο.....

Υπολόγισε το ημίτονο της γωνίας πρόσπτωσης  $\pi$  και το ημίτονο της γωνίας διάθλασης  $\delta$  χρησιμοποιώντας πίνακα τριγωνομετρικών αριθμών.

Επανάλαβε τη διαδικασία επιλέγοντας διαδοχικά γωνία πρόσπτωσης ίση με  $45^\circ$  και ίση με  $60^\circ$ .

Συμπλήρωσε τον πίνακα 3.2.1 γνωρίζοντας ότι οι τιμές των δεικτών διάθλασης του αέρα και του plexiglas είναι αντίστοιχα  $n_{\text{αέρα}} = 1$  και  $n_{\text{plexiglas}} = 1,49$ .

Πίνακας 3.2.1					
γωνία πρόσπτωσης ( $\pi$ )	γωνία διάθλασης ( $\delta$ )	ημπ	ημδ	$n_{\text{αέρα}} \cdot \etaμπ$	$n_{\text{plexiglas}} \cdot \etaμδ$
30°					
45°					
60°					

Σύγκρινε τις τιμές των δύο τελευταίων στηλών. Τι παρατηρείς;



### Οι νόμοι της διάθλασης

#### 1ος νόμος: Νόμος του Snell (Σνελ)

Όταν μια ακτίνα φωτός διαθλάται μεταξύ του μέσου (1) με δείκτη διάθλασης  $n_1$  και του μέσου (2) με δείκτη διάθλασης  $n_2$ , τότε οι γωνίες  $\theta_1$  και  $\theta_2$  που σχηματίζουν οι ακτίνες με την κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια συνδέονται με τη σχέση:

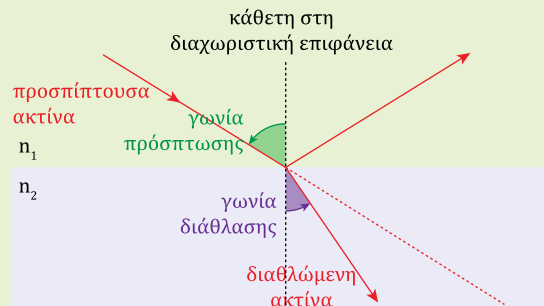
$$n_1 \cdot \eta\mu\theta_1 = n_2 \cdot \eta\mu\theta_2 \quad \text{ή} \quad \frac{n_1}{n_2} = \frac{\eta\mu\theta_2}{\eta\mu\theta_1} \quad (3.2.2.)$$

Όταν **το φως διαδίδεται** από μέσο (1) σε οπτικά πυκνότερο μέσο (2) (δηλαδή ισχύει  $n_2 > n_1$ , και  $v_2 < v_1$ ), η διαθλώμενη ακτίνα πλησιάζει στην κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια. Δηλαδή η γωνία διάθλασης είναι μικρότερη από τη γωνία πρόσπτωσης (ισχύει  $\delta < \pi$ ).

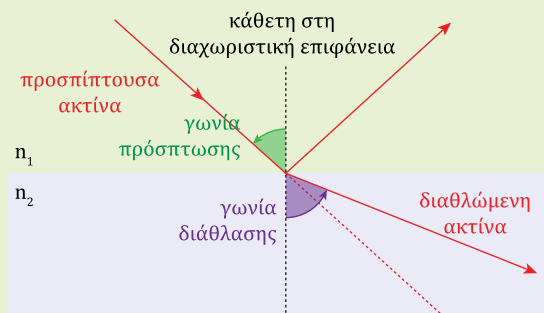
Όταν **το φως διαδίδεται** από μέσο (1) σε οπτικά αραιότερο μέσο (2) (δηλαδή ισχύει  $n_2 < n_1$ , και  $v_2 > v_1$ ), η διαθλώμενη ακτίνα απομακρύνεται από την κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια. Δηλαδή η γωνία διάθλασης είναι μεγαλύτερη από τη γωνία πρόσπτωσης (ισχύει  $\delta > \pi$ ).

#### 2ος νόμος

Οι ακτίνες πρόσπτωσης, ανάκλασης και διάθλασης αλλά και η κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια των οπτικών μέσων ανήκουν όλες στο ίδιο επίπεδο το οποίο είναι κάθετο στη διαχωριστική επιφάνεια.



Εικόνα 3.2.8: Διάθλαση σε πυκνότερο οπτικά μέσο.



Εικόνα 3.2.9: Διάθλαση σε αραιότερο οπτικά μέσο.

## Μέτρηση δείκτη διάθλασης οπτικού μέσου για το κόκκινο laser

Πειραματική δραστηριότητα:



Μπορείς να μετρήσεις τον δείκτη διάθλασης του νερού για το κόκκινο φως του laser;



**Τοποθέτησε** τον κύβιο ημικύλινδρο πάνω στον γωνιομετρικό δίσκο, έτσι ώστε το κέντρο της επίπεδης επιφάνειας να συμπίπτει με το κέντρο του γωνιομετρικού δίσκου και η επιφάνεια να βρίσκεται πάνω στη διάμετρο των 90°-270°.

**Γέμισέ** τον με νερό μέχρι τη μέση.

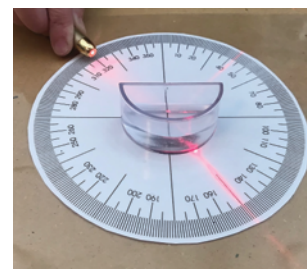
**Επίλεξε** τη γωνία πρόσπτωσης ώστε να είναι 30°.

**Μέτρησε** τη γωνία διάθλασης στον γωνιομετρικό δίσκο.

**Επανάλαβε** τη διαδικασία επιλέγοντας διαδοχικά γωνία πρόσπτωσης ίση με 45° και ίση με 60°.

**Συμπλήρωσε** στον πίνακα 3.2.2.

**Υπολόγισε την τιμή του λόγου των ημιτόνων** των γωνιών πρόσπτωσης  $\pi$  και διάθλασης  $\delta$  για κάθε περίπτωση και υπολόγισε τον μέσο όρο των μετρήσεων για την τιμή του λόγου αυτού.



Εικόνα 3.2.10: Μέτρηση δείκτη διάθλασης.

Πίνακας 3.2.2				
γωνία πρόσπτωσης ( $\pi$ )	γωνία διάθλασης ( $\delta$ )	ημπ	ημδ	$\frac{\eta\mu\pi}{\eta\mu\delta}$
30°				
45°				
60°				
			μέσος όρος	

Εφάρμοσε τον νόμο του Snell γνωρίζοντας ότι ο δείκτης διάθλασης του αέρα είναι  $n_{\text{αέρα}}=1$ .

Με τι ισούται το πηλίκο  $\frac{\eta\mu\pi}{\eta\mu\delta}$ ;

.....

Γνωρίζοντας ότι ο δείκτης διάθλασης του νερού για το κόκκινο χρώμα ισούται με 1,33, επιβεβαιώνεις την απάντηση που έδωσες στο προηγούμενο ερώτημα;

.....



Προσομοίωση: Μέτρηση δείκτη διάθλασης.



Από τον νόμο του Snell, αν το ένα οπτικό μέσο είναι ο αέρας, προκύπτει:

$$n_1 \cdot \eta_{μπ} = n_2 \cdot \eta_{μδ} \xrightarrow{n_1 = 1} \eta_{μπ} = n_2 \cdot \eta_{μδ} \Rightarrow n_2 = \frac{\eta_{μπ}}{\eta_{μδ}}$$

Η τιμή του λόγου του ημιτόνου της γωνίας ..... της ακτίνας φωτός προς το ημίτονο της γωνίας ..... ισούται με το ..... του νερού, για το κόκκινο φως του laser.



Η τιμή του δείκτη διάθλασης ενός οπτικού μέσου (για ορισμένο χρώμα φωτός) ισούται με τον λόγο του ημιτόνου της γωνίας πρόσπτωσης της ακτίνας φωτός προς το ημίτονο της γωνίας διάθλασης.

$$n = \frac{\eta_{μπ}}{\eta_{μδ}}$$

ΝΑΙ

ΟΧΙ



## Διάθλαση φωτός από πυκνό προς αραιό μέσο

### Πρακτική δραστηριότητα:



Όταν μια ακτίνα φωτός προσπίπτει, υπό γωνία, στη διαχωριστική επιφάνεια δύο οπτικών μέσων, προερχόμενη από το οπτικά πυκνότερο μέσο, εισέρχεται πάντα στο οπτικά αραιότερο;



**Τοποθέτησε το γυάλινο δοχείο** στην άκρη του θρανίου και **βάλε** μέσα νερό μέχρι τη μέση.

**Αναψε το laser** στα πλάγια του δοχείου (στοχεύοντας προς τα πάνω) ώστε η ακτίνα φωτός να προσπίπτει υπό μικρή γωνία ως προς αυτό.

**Σημείωση:** επειδή το πάχος του γυάλινου τοιχώματος του δοχείου είναι πολύ μικρό, περνώντας το φως από τον αέρα στο γυαλί και από εκεί στο νερό θα υποστεί μια πολύ μικρή παράλληλη μετατόπιση, την οποία αγνοούμε. Οπότε το φως είναι σαν να προσπίπτει απευθείας στη διαχωριστική επιφάνεια νερού - αέρα.

**Τοποθέτησε ένα χαρτόνι (ή χαρτί A4) πάνω στο δοχείο.**

Παρατήρησε την ακτίνα φωτός καθώς προσπίπτει στη διαχωριστική επιφάνεια νερού-αέρα ώστε να διαπιστώσεις ποια φαινόμενα οπτικής συμβαίνουν.

Συμβαίνει ανάκλαση; ..... Συμβαίνει διάθλαση; .....

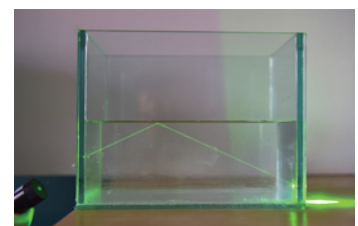
**Σχόλιο:** Το χαρτόνι το χρησιμοποιήσαμε ώστε να δούμε το ίχνος του laser πάνω του, ενδεικτικό του ότι το laser εξέρχεται διαθλώμενο από το νερό στον αέρα.

**Αύξησε** σταδιακά τη γωνία πρόσπτωσης της ακτίνας φωτός στη διαχωριστική επιφάνεια νερού-αέρα ώστε να μεγαλώσει αρκετά (να γίνει μεγαλύτερη από 60°).

Παρατήρησε ποια φαινόμενα οπτικής συμβαίνουν.



Βίντεο 3.2.4: Ακτίνα laser αλλάζει μέσο διάδοσης (από νερό προς αέρα).



Εικόνα 3.2.11: Ολική ανάκλαση.

Συμβαίνει ανάκλαση; .....

Συμβαίνει διάθλαση; .....



Όταν μια ακτίνα φωτός προσπίπτει υπό ..... γωνία στη διαχωριστική επιφάνεια δύο οπτικών μέσων προερχόμενη από το οπτικά πυκνότερο μέσο, ανακλάται στη διαχωριστική επιφάνεια και διαθλάται στο αραιότερο οπτικά μέσο. Όταν η γωνία πρόσπτωσης στη διαχωριστική επιφάνεια ..... κάποια τιμή, τότε η ακτίνα φωτός μόνο ..... χωρίς να ..... στο οπτικά αραιότερο μέσο.



### Ολική ανάκλαση

Όταν το φως προσπίπτει υπό μικρή γωνία στη διαχωριστική επιφάνεια δυο οπτικών μέσων προερχόμενο από το οπτικά πυκνότερο υλικό προς το οπτικά αραιότερο υλικό, η γωνία διάθλασης  $\delta$  είναι μεγαλύτερη από τη γωνία πρόσπτωσης  $\pi$ .

Αυξάνοντας συνεχώς τη γωνία πρόσπτωσης  $\pi$  για κάποια τιμή της (που ονομάζεται **κρίσιμη ή οριακή γωνία**  $\theta_{op}$ ) η γωνία διάθλασης  $\delta$  θα ισούται με  $90^\circ$ . Δηλαδή (θεωρητικά), η διαθλώμενη ακτίνα θα κινείται παράλληλα στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο οπτικών μέσων.

Για κάθε γωνία πρόσπτωσης **μεγαλύτερη από την οριακή γωνία**  $\theta_{op}$  το φως δεν εισέρχεται στο δεύτερο μέσο αλλά επιστρέφει στο αρχικό οπτικά πυκνότερο μέσο. Συμβαίνει επομένως μόνο ανάκλαση. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **ολική (εσωτερική) ανάκλαση**.

Από τον νόμο του Snell προκύπτει:

$$n_1 \cdot \eta \mu \pi = n_2 \cdot \eta \mu \delta \xrightarrow{\substack{\delta = 90^\circ \\ \pi = \theta_{op}}} n_1 \cdot \eta \mu \theta_{op} = n_2 \cdot \eta \mu 90^\circ \xrightarrow{\eta \mu 90^\circ = 1} \eta \mu \theta_{op} = \frac{n_2}{n_1} \quad (3.2.4)$$

Η τιμή της οριακής γωνίας  $\theta_{op}$  εξαρτάται από τον συνδυασμό των οπτικών μέσων (από τις τιμές των δεικτών διάθλασής τους).

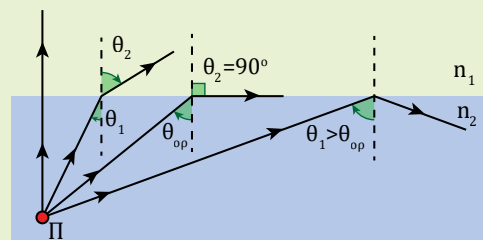
### Συνθήκες για να συμβεί ολική ανάκλαση

- Το φως να κινείται από οπτικά πυκνότερο μέσο με δείκτη διάθλασης  $n_1$  προς οπτικά αραιότερο μέσο με δείκτη διάθλασης  $n_2$ .

$$n_1 > n_2 \quad (3.2.5)$$

- Η γωνία πρόσπτωσης  $\pi$  να είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη ή οριακή γωνία  $\theta_{op}$ .

$$\pi > \theta_{op} \quad (3.2.6)$$



Εικόνα 3.2.12: Τι συμβαίνει αναλόγως της γωνίας πρόσπτωσης (από πυκνό σε αραιό μέσο).

### Καθοδήγηση του φωτός

Πρακτική δραστηριότητα:



Μπορείς να οδηγήσεις το φως ώστε να μην κινείται ευθύγραμμα;





**Άνοιξε** με το καρφί **μια τρύπα** στα πλάγια του πλαστικού μπουκαλιού (προς το κάτω μέρος του κοντά στον πυθμένα του) και κλείσε την τρύπα με κολλητική ταινία.

**Σημείωση:** Η τρύπα θα γίνει πιο εύκολα αν το καρφί (κρατώντας το με ένα πανί) το ζεστάνεις στη φλόγα ενός κεριού και μετά το πιέσεις στο πλαστικό μπουκάλι ώστε να ανοίξει τρύπα.

**Γέμισε** το πλαστικό μπουκάλι με νερό και **βίδωσε το καπάκι του**. Βγάλε τώρα την κολλητική ταινία.

Σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού **άναψε το laser** και **σημάδεψε** στην περιοχή της τρύπας που άνοιξες, αλλά από την απέναντι πλευρά του μπουκαλιού.

**Άνοιξε το καπάκι** του μπουκαλιού ώστε να αρχίσει να τρέχει το νερό από την τρύπα.

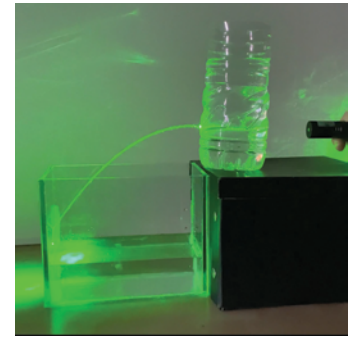
**Προσπάθησε το φως του laser να «εισχωρήσει»** στη φλέβα νερού που εξέρχεται από το μπουκάλι.

Παρατήρησε την πορεία του φωτός του laser. Είναι ευθύγραμμη;

.....



Το φως κάνει διαδοχικές ολικές ..... μέσα στη φλέβα νερού ακολουθώντας την πορεία της που δεν είναι .....



Εικόνα 3.2.13: Καθοδήγηση ακτίνας laser από φλέβα νερού.



Βίντεο 3.2.5: Καθοδηγώντας μια ακτίνα φωτός («σωλήνας» φωτός).



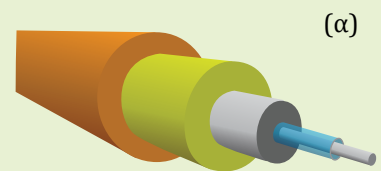
## Οπτικές ίνες

Οι οπτικές ίνες είναι οπτικά υλικά που επιτρέπουν τη διάδοση του φωτός στο εσωτερικό τους αξιοποιώντας το φαινόμενο της ολικής εσωτερικής ανάκλασης.

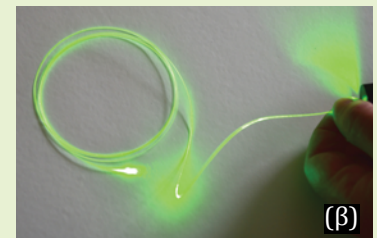
Έχουν σχήμα κυλινδρικό με πάχος πολύ μικρότερο από 1mm και πολύ μεγάλο μήκος (μοιάζουν σαν πετονιές). Αποτελούνται από ένα εσωτερικό υλικό (ονομάζεται **πυρήνας** και είναι κυλινδρικής μορφής) που έχει μεγαλύτερη τιμή δείκτη διάθλασης από του εξωτερικού υλικού (ονομάζεται **περίβλημα** και είναι κυλινδρικός φλοιός). Τα υλικά αυτά προστατεύονται από πλαστική επικάλυψη.

Διοχετεύοντας μια ακτίνα φωτός στο ένα άκρο της οπτικής ίνας υπό κατάλληλη γωνία (ώστε η γωνία πρόσπτωσης στη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού υλικού να είναι μεγαλύτερη από την οριακή γωνία  $\theta_{op}$ ) μέσω διαδοχικών ολικών ανακλάσεων εξέρχεται από το άλλο άκρο της χωρίς να έχει υποστεί απώλειες. Οι οπτικές ίνες δρουν ουσιαστικά ως «σωλήνες» φωτός.

Οι οπτικές ίνες είναι υλικό με πολύ μικρό κόστος κατασκευής και η χρησιμοποίησή τους στις τηλεπικοινωνίες έφερε «επανάσταση» καθώς επιτρέπουν την ταυτόχρονη μετάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, δηλαδή σημάτων τηλεόρασης, ραδιοφώνου, τηλεφωνικών κλήσεων και δεδομένων internet μέσα τους, χωρίς αλλοιώσεις, χωρίς παρεμβολές και υποκλοπές με μεγάλη ταχύτητα και χωρίς εξασθένηση. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα μπορούν να διαδοθούν μέσα σε οπτικές ίνες σε απόσταση μέχρι και 100 Km χωρίς να εξασθενήσουν.



(α)



(β)

Εικόνα 3.2.14: Το laser ταξιδεύει μέσα στην οπτική ίνα.

## Ανάλυση του φωτός – Πρόσπτωση λευκού φωτός σε πρίσμα

### Πρακτική δραστηριότητα:



Το λευκό φως του Ήλιου αποτελείται από άλλα χρώματα;



Βίντεο 3.2.6: Ανάλυση ηλιακού φωτός από πρίσμα.



**Κράτησε** με το χέρι σου **το γυάλινο πρίσμα** κοντά στο έδαφος (ή κοντά σε τοίχο).

**Στρίψε το πρίσμα** ώστε οι ακτίνες του Ηλίου να προσπέσουν υπό γωνία σε μια επιφάνειά του. Μπορείς αντί του ηλιακού φωτός να χρησιμοποιήσεις έναν φακό, αρκεί το φως του να είναι μεγάλης έντασης.

Τι παρατηρείς να σχηματίζεται στο έδαφος (ή στον τοίχο) μετά την έξοδο του φωτός από την πίσω επιφάνεια του πρίσματος;

.....

Πόσα χρώματα μπορείς να διακρίνεις στη χρωματιστή ταινία;

.....

Σημείωσε με ποια σειρά βλέπεις τα χρώματα.

.....

Υπάρχουν κενά ανάμεσα στα χρώματα ή είναι συνεχόμενα;

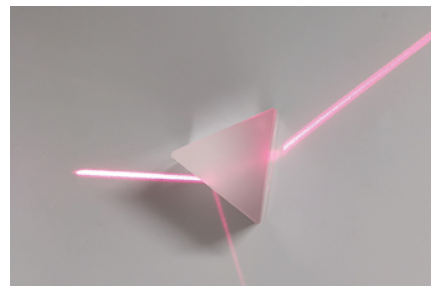
.....

Στη συνέχεια **χρησιμοποίησε το laser** σηματοδύοντας με τη δέσμη του το πρίσμα.

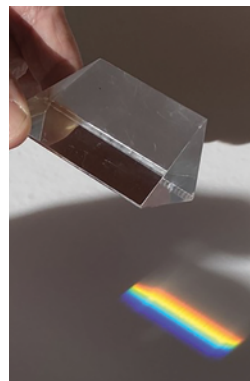
Παρατήρησε πίσω από το πρίσμα.

Αναλύεται η δέσμη του laser σε άλλα χρώματα;

.....



Εικόνα 3.2.15: Ακτίνα laser σε πρίσμα.



Εικόνα 3.2.16α: Ανάλυση λευκού φωτός από τριγωνικό πρίσμα.



Εικόνα 3.2.16β: Το φάσμα του λευκού φωτός.



Όταν λευκό φως πέσει υπό γωνία σε τριγωνικό πρίσμα ..... σε επιμέρους ακτινοβολίες καθεμιά από τις οποίες έχει διαφορετικό ..... . Προκύπτει μια έγχρωμη ταινία η οποία λέγεται **συνεχές** (δηλαδή χωρίς σκοτεινές, κενές, περιοχές) **φάσμα ανάλυσης του λευκού φωτός**. Τα χρώματα της ταινίας εμφανίζονται πάντοτε με συγκεκριμένη σειρά: ερυθρό (κόκκινο), πορτοκαλί, κίτρινο, πράσινο, κυανό, μπλε, ιώδες (μοβ).



## Πώς εξηγείται η ανάλυση του λευκού φωτός από το πρίσμα;

Καθώς το λευκό φως διέρχεται από το πρίσμα υφίσταται δύο διαθλάσεις. Μια στη διαχωριστική επιφάνεια αέρα-γυαλιού (όταν εισέρχεται) και μια στη διαχωριστική επιφάνεια γυαλιού-αέρα (όταν εξέρχεται). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα όταν το φως εξέρχεται από το πρίσμα να σκορπίζεται σε μορφή βεντάλιας.

Το λευκό φως αποτελείται από ακτινοβολίες τα φωτόνια των οποίων έχουν διαφορετική ενέργεια (άρα και διαφορετικό χρώμα). Όταν οι ακτινοβολίες αυτές κινούνται στο κενό ή στον αέρα με την ίδια ταχύτητα, τις βλέπουμε όλες μαζί, οπότε το φως που προκύπτει από τη σύνθεσή τους έχει λευκό χρώμα. Οι ακτινοβολίες αυτές, όταν εισέλθουν στο πρίσμα, κινούνται με διαφορετικές ταχύτητες. Οπότε, αναλύονται από το πρίσμα και τις βλέπουμε μετά την έξοδό τους με διαφορετικά χρώματα.

Στο κενό όλα τα φωτόνια κινούνται με την ίδια ταχύτητα. Όταν όμως εισέρχονται σε ένα οπτικό μέσο, η ταχύτητά τους μειώνεται, αλλά όχι κατά το ίδιο ποσοστό για όλα τα χρώματα. Όσο μεγαλύτερη είναι η ενέργεια των φωτονίων τόσο περισσότερο αλληλεπιδρούν με την ύλη και μειώνεται η ταχύτητά τους. Οπότε, και ο δείκτης διάθλασης ενός οπτικού μέσου είναι διαφορετικός για τα διαφορετικά χρώματα φωτός.

Εξαιτίας λοιπόν της διαφορετικής ταχύτητας διάδοσής τους, τα (διαφορετικών ενεργειών και χρωμάτων) φωτόνια εκτρέπονται και με διαφορετική γωνία από το υλικό του πρίσματος, ακολουθώντας διαφορετικές πορείες.

Το φαινόμενο της εξάρτησης της ταχύτητας διάδοσης του φωτός σε ένα υλικό (και του δείκτη διάθλασης του υλικού) από την ενέργεια (το χρώμα) του φωτός ονομάζεται **διασκεδασμός του φωτός**. [Σκέδαση = σκόρπισμα, αλλαγή πορείας].

Από τον ορισμό του δείκτη διάθλασης:  $n = \frac{c}{v}$ ,

προκύπτει ότι όσο μικρότερη είναι η ταχύτητα διάδοσης μιας ακτινοβολίας σε ένα μέσο, τόσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του δείκτη διάθλασης της ακτινοβολίας για το μέσο αυτό.

Από τον νόμο του Snell:  $n_1 \cdot \eta\mu\theta_1 = n_2 \cdot \eta\mu\theta_2$ ,

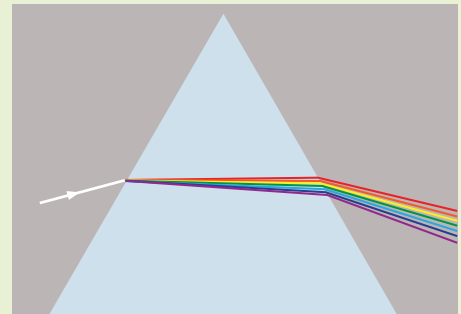
προκύπτει ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης διάθλασης ενός υλικού τόσο μικρότερη είναι η γωνία διάθλασης, επομένως τόσο μεγαλύτερη είναι η **γωνία εκτροπής  $\epsilon$** , δηλαδή η γωνία ανάμεσα στην πορεία που θα ακολουθούσε μια ακτίνα φωτός αν διαδίδοταν ευθύγραμμα και σε αυτή που ακολουθεί λόγω της διάθλασης.

Συγκριτικά επομένως για τα δύο ακραία χρώματα του φάσματος ανάλυσης του λευκού φωτός, δηλαδή για το ιώδες και το κόκκινο ισχύουν:

Η ιώδης ακτινοβολία έχει μεγαλύτερη ενέργεια φωτονίων από την κόκκινη. Επομένως, η ταχύτητα διάδοσης της ιώδους είναι μικρότερη από της κόκκινης και συνεπώς ο δείκτης διάθλασης της ιώδους είναι μεγαλύτερος από της κόκκινης. Οπότε, η γωνία διάθλασης για την ιώδη είναι μικρότερη από της κόκκινης και η γωνία εκτροπής της ιώδους είναι μεγαλύτερη από της κόκκινης.

## Φως και όραση

Τα χρώματα που βλέπουμε αποτελούν αντίληψη του εγκεφάλου μας και δεν είναι πραγματική ιδιότητα των ακτινοβολιών που ανήκουν στο ορατό φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Το χρώμα σχετίζεται με την ενέργεια των φωτονίων. Το γεγονός ότι βλέπουμε να έχουν χρώμα μόνο οι ακτινοβολίες του ορατού φάσματος και όχι και οι υπόλοιπες ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες οφείλεται στο ότι το οπτικό μας σύστημα αντιδρά στις ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες που έχουν ενέργειες φωτονίων, που αντιστοιχούν στο ορατό φως. Κάτι αντίστοιχο ισχύει και με τους ήχους. Το ακουστικό μας σύστημα μπορεί να ακούσει μόνο τους ήχους που ανήκουν στην περιοχή από 20 Hz μέχρι 20.000 Hz, ενώ υπάρχουν υπόηχοι και υπέρηχοι που δεν μπορεί να τους ακούσει. Συμβαίνει όμως κά-




Εικόνα 3.2.17: Αναπαράσταση ανάλυσης λευκού φωτός από πρίσμα.

$c_{\text{ιώδους}} < c_{\text{κόκκινης}}$
$\eta_{\text{ιώδους}} > \eta_{\text{κόκκινης}}$
$\delta_{\text{ιώδους}} < \delta_{\text{κόκκινης}}$
$\epsilon_{\text{ιώδους}} > \epsilon_{\text{κόκκινης}}$


ποια ζώα να ακούνε υπέρηχους ή υπόηχους (π.χ. δελφίνια, νυχτερίδες). Συμβαίνει επίσης κάποια όντα να βλέπουν χρώματα που ανήκουν στο υπέρυθρο ή στο υπεριώδες τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (π.χ. ερπετά, μέλισσες). Κάποια άλλα ζώα δεν βλέπουν χρώματα. Σκέψου τον μύθο ότι οι ταύροι βλέπουν το κόκκινο πανί που κουνάει ο ταυρομάχος και εκνευρίζονται κυνηγώντας το. Θα έκαναν το ίδιο με οποιουδήποτε χρώματος κινούμενο πανί, καθώς οι ταύροι δεν βλέπουν χρώματα.


## Δημιουργία ουράνιου τόξου

### Πρακτική δραστηριότητα:

 Μπορείς να φτιάξεις ένα ουράνιο τόξο;

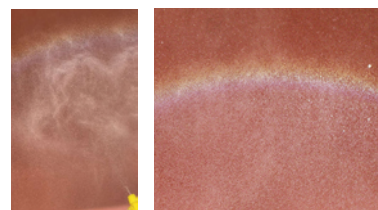


 Έχοντας τον Ήλιο πίσω από την πλάτη σου **ψέκασε νερό** με τον ψεκαστήρα. Εναλλακτικά, μια ηλιόλουστη ημέρα σε εξωτερικό χώρο έχοντας τον Ήλιο πίσω από τη πλάτη σου, **άνοιξε μια βρύση και πίεσε την άκρη του λάστιχου ποτίσματος** ώστε το νερό που θα εξέλθει να δημιουργήσει μια μικρή βροχή.

 Τι παρατηρείς κοιτώντας προς τα σταγονίδια του νερού που εκτόξευσε ο ψεκαστήρας ή το λάστιχο του ποτίσματος; .....

.....


.....



Εικόνα 3.2.18: Αυτοσχέδιο ουράνιο τόξο από σταγονίδια νερού.

## Φακοί – Εφαρμογές φακών – Μεγεθυντικός φακός

### Πρακτική δραστηριότητα:

 Μπορείς να βρεις έναν τρόπο να διαβάσεις το διπλανό κείμενο; Με μια σταγόνα νερό



Εικόνα 3.2.19: Αυτοσχέδιο μεγεθυντικός φακός.

Ναι  Όχι



**Τοποθέτησε μια σταγόνα νερό σε ένα κομμάτι πλαστικό** (μπορείς να κόψεις από πλαστικό μπουκάλι ή να χρησιμοποιήσεις μια αντικειμενοφόρο πλάκα).

**Πλησίασέ το** πάνω από το κείμενο. Ίσως χρειαστεί να το μετακινήσεις λίγο πάνω ή κάτω



Βίντεο 3.2.7: Δημιούργησε ουράνιο τόξο.

Τι παρατηρείς; .....

.....



Καθώς το φως από τα γράμματα ..... μέσα από τη σταγόνα του νερού για να ..... στο μάτι μου, τα γράμματα φαίνονται ..... και μπορώ να τα διαβάσω.



Βίντεο 3.2.8: Διαβάζοντας μικρά γράμματα.



## Είδη φακών

Οι φακοί είναι διαφανή σώματα που περιορίζονται από δύο επιφάνειες, μια επίπεδη και μια καμπύλη (σφαιρική ή κυλινδρική) ή από δύο καμπύλες επιφάνειες. Οι ακτίνες των σφαιρικών επιφανειών ονομάζονται **ακτίνες καμπυλότητας του φακού**. Όταν το φως διέρχεται μέσα από έναν φακό, λόγω διάθλασης, αλλάζει πορεία. Οι φακοί είναι εξαρτήματα πολλών οπτικών οργάνων, όπως των τηλεσκοπίων, των μικροσκοπίων, των φωτογραφικών μηχανών, των κιαλιών κ.ά. Χρησιμοποιούνται επίσης ως διορθωτικά μέσα της ανθρώπινης όρασης (γυαλιά οράσεως, φακοί επαφής).

Οι φακοί διακρίνονται σε:

- **Συγκλίνοντες** (κυρτοί): έχουν λεπτά άκρα και παχύ μέσο.
- **Αποκλίνοντες** (κοίλοι): έχουν παχύτερα άκρα και λεπτό μέσο.

## Γεωμετρικά χαρακτηριστικά των λεπτών φακών

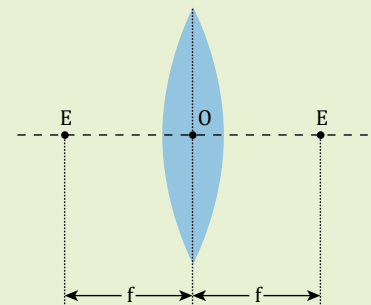
- **Κέντρο** (O) είναι το κέντρο (μέσον) του φακού.
- **Κύριος οπτικός άξονας** είναι η ευθεία που διέρχεται από το Κέντρο (O) και τα κέντρα καμπυλότητας των σφαιρικών επιφανειών (αλλά και από τις Εστίες του φακού). Ο κύριος οπτικός άξονας είναι άξονας συμμετρίας του φακού.
- **Εστίες** (E) και (E') είναι τα σημεία του κύριου οπτικού άξονα όπου συναντώνται οι ακτίνες μιας φωτεινής δέσμης που είναι παράλληλες στον κύριο οπτικό άξονα μετά την έξοδο από έναν συγκλίνοντα φακό ή οι προεκτάσεις τους από έναν αποκλίνοντα φακό.

Κάθε φακός έχει 2 εστίες, που ονομάζονται κύρια Εστία (E) και δευτερεύουσα Εστία (E') και βρίσκονται εκατέρωθεν του φακού.

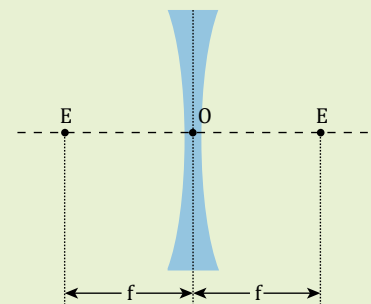
Η κύρια Εστία (E) είναι το σημείο από το οποίο οι διερχόμενες φωτεινές ακτίνες μετά τη διάθλασή τους θα κινηθούν παράλληλα προς τον κύριο οπτικό άξονα. Δες εικόνα 3.2.24α.

Η δευτερεύουσα Εστία (E') είναι το σημείο από το οποίο οι φωτεινές ακτίνες που κινούνται παράλληλα στον κύριο οπτικό άξονα θα διέλθουν μετά τη διάθλασή τους (θα εστιάσουν). Δες εικόνα 3.2.25α.

- **Εστιακή απόσταση** (f) είναι η απόσταση κάθε Εστίας από το Κέντρο (O) του φακού.




Εικόνα 3.2.20α: Αναπαράσταση συγκλίνοντος φακού.




Εικόνα 3.2.20β: Αναπαράσταση αποκλίνοντος φακού.

## Προσδιορισμός Εστίας συγκλίνοντος φακού

### Πρακτική δραστηριότητα:

 Μπορείς να προσδιορίσεις κάποια από τις Εστίες ενός συγκλίνοντος φακού;



 Μια ηλιόλουστη μέρα **στερέωσε** με κάποιον τρόπο ένα **φουσκωμένο μπαλόνι** στο έδαφος (μπορείς να το κρατήσεις και ανάμεσα στα γόνατά σου).


**Πλησίασε τον φακό πάνω από το μπαλόνι.**

**Προσπάθησε** πλησιάζοντας ή απομακρύνοντας τον φακό από το μπαλόνι **να εστιάσεις** το ηλιακό φως που περνά από τον φακό σε ένα σημείο πάνω στο μπαλόνι.

Το σημείο αυτό είναι η δευτερεύουσα Εστία του φακού που χρησιμοποιείς.

**Περίμενε** κρατώντας τον φακό σε αυτήν τη θέση (εστιάζοντας) το ηλιακό φως. Τι θα συμβεί;

.....

 Οι διερχόμενες ακτίνες μέσα από ένα ..... φακό συγκεντρώνονται σε ένα σημείο πάνω στο μπαλόνι. Αυτό το σημείο είναι η δευτερεύουσα ..... του φακού.


Η ..... ενέργεια του ηλιακού φωτός που πέρασε μέσα από τον φακό συγκεντρώθηκε σε ένα ..... (Εστία) και είναι ικανή να θερμάνει αυτό το σημείο στο μπαλόνι τόσο ώστε τελικά αυτό να .....



Βίντεο 3.2.9: Εντόπισε την Εστία συγκεντρώνοντας το φως.

## Είδωλο συγκλίνοντος φακού

### Πρακτική δραστηριότητα:

 Το είδωλο ενός αντικειμένου από συγκλίνοντα φακό είναι πάντοτε όρθιο;





**Κράτησε τον συγκλίνοντα φακό** έχοντας το χέρι σου τεντωμένο και **παρατήρησε** ένα **μακρινό αντικείμενο**.

Τι παρατηρείς σχετικά με το είδωλο του αντικειμένου; Είναι όρθιο ή αντεστραμμένο;

.....

Παρατήρησε το μέγεθος του ειδώλου του αντικειμένου; Είναι μικρότερο ή μεγαλύτερο από το μέγεθος του αντικειμένου;

.....

**Κράτησε τον φακό** κοντά στο μάτι σου και **παρατήρησε** (εστιάζοντας) ένα **κοντινό αντικείμενο**.

Παρατήρησε το είδωλο του αντικειμένου; Είναι όρθιο ή αντεστραμμένο;

.....

Παρατήρησε το μέγεθος του ειδώλου του αντικειμένου; Είναι μικρότερο ή μεγαλύτερο;

.....



- Το είδωλο ενός μακρινού αντικειμένου που σχηματίζεται από έναν ..... φακό είναι ..... και .....
- Το είδωλο ενός κοντινού αντικειμένου που σχηματίζεται από έναν συγκλίνοντα φακό είναι ..... και .....



## Είδωλα συγκεντρωτικού φακού

Το είδωλο ενός μακρινού αντικειμένου που σχηματίζεται από έναν συγκλίνοντα φακό είναι αντεστραμμένο, μικρότερο και σε μεγαλύτερη απόσταση.

Το είδωλο ενός κοντινού αντικειμένου που σχηματίζεται από έναν συγκλίνοντα φακό είναι όρθιο και μεγαλύτερο.



**Εικόνα 3.2.21α:** Μακρινό είδωλο συγκλίνοντος φακού.



**Εικόνα 3.2.21β:** Κοντινό είδωλο συγκλίνοντος φακού.

## Πορεία ακτίνων μέσα από φακούς

**Ψηφιακή δραστηριότητα:**



**Μπορείς να προβλέψεις την πορεία μιας φωτεινής ακτίνας μετά τη διάθλασή της από έναν φακό;**

**ΝΑΙ**

**ΟΧΙ**





Αξιοποίησε τις προσομοιώσεις με τίτλο: **συγκλίνων φακός** και **αποκλίνων φακός**.

**Εμφάνισε** την πορεία χαρακτηριστικών φωτεινών ακτίνων (επιλέγοντας τα κατάλληλα τετραγωνάκια στην προσομοίωση □).

**Εμφάνισε** την πορεία μιας φωτεινής ακτίνας που είναι παράλληλη στον κύριο οπτικό άξονα. Ποια είναι η διαδρομή της μετά τη διάθλαση στον φακό;

.....

**Εμφάνισε** την πορεία μιας φωτεινής ακτίνας που περνά από το κέντρο του φακού.

Ποια είναι η διαδρομή της μετά τη διάθλαση στον φακό;

.....

**Εμφάνισε** την πορεία μιας φωτεινής ακτίνας που περνά από την Εστία.

Ποια είναι η διαδρομή της μετά τη διάθλαση στον φακό;

.....



- Κάθε φωτεινή ακτίνα που περνά από το Κέντρο (K) μετά τη διάθλασή της στον φακό ..... αλλάζει πορεία.
- Κάθε φωτεινή ακτίνα παράλληλη στον κύριο οπτικό άξονα μετά τη διάθλασή της περνά από την ..... πίσω από τον φακό.
- Κάθε φωτεινή ακτίνα που περνά από την Εστία (E) μετά τη διάθλασή της είναι ..... προς τον κύριο οπτικό άξονα.



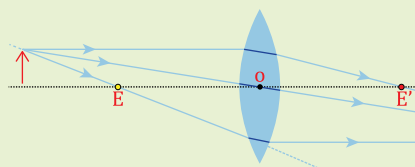
Προσομοίωση: Συγκλίνων φακός.



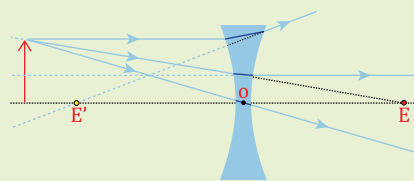
Προσομοίωση: Αποκλίνων φακός.



### Πορεία χαρακτηριστικών (ειδικών) ακτίνων μέσα από τους φακούς



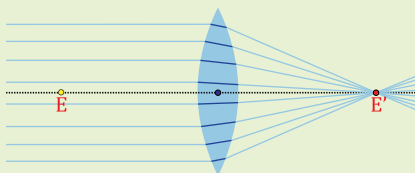
Εικόνα 3.2.22: Πορεία ειδικών ακτίνων σε συγκλίνοντα φακό.



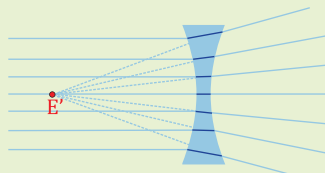
Εικόνα 3.2.23: Πορεία ειδικών ακτίνων σε αποκλίνοντα φακό.

- Κάθε ακτίνα που περνά από το κέντρο του φακού εξέρχεται από τον φακό χωρίς αλλαγή της πορείας της.
- Κάθε ακτίνα παράλληλη προς τον οπτικό άξονα μετά την έξοδο από τον φακό διέρχεται από τη δευτερεύουσα Εστία (E').
- Κάθε ακτίνα που περνά από την Εστία (E) του φακού μετά την έξοδο από τον φακό γίνεται παράλληλη προς τον κύριο οπτικό άξονα του φακού.
- Στους συγκλίνοντες φακούς μια δέσμη ακτίνων παράλληλη προς τον οπτικό άξονα του φακού μετά την έξοδό τους από τον φακό συγκλίνει στην Εστία (E') του φακού.

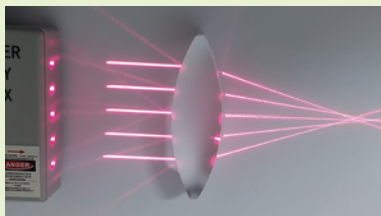
- Στους αποκλίνοντες φακούς μια δέσμη ακτίνων παράλληλη προς τον οπτικό άξονα του φακού μετά την έξοδό της από τον φακό αποκλίνει. Οι προεκτάσεις των εξερχόμενων ακτίνων συγκλίνουν στην κύρια Εστία (E) του φακού.



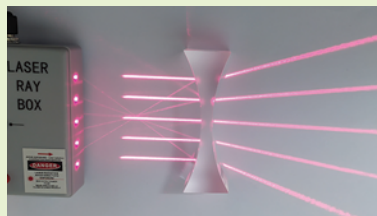
**Εικόνα 3.2.24α:** Παράλληλη δέσμη φωτός συγκλίνει στην Εστία συγκλίνοντος φακού.



**Εικόνα 3.2.25α:** Οι προεκτάσεις των εξερχόμενων ακτίνων συγκλίνουν στην Εστία αποκλίνοντος φακού.



**Εικόνα 3.2.24β:** Παράλληλη δέσμη φωτός συγκλίνει στην Εστία συγκλίνοντος φακού.



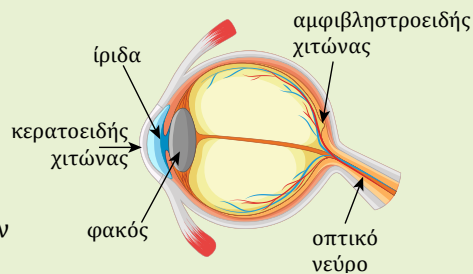
**Εικόνα 3.2.25β:** Οι προεκτάσεις των εξερχόμενων ακτίνων συγκλίνουν στην Εστία αποκλίνοντος φακού.

## Λειτουργία οφθαλμού – διορθώσεις παθήσεων

Ο ανθρώπινος οφθαλμός (μάτι) έχει σχήμα περίπου σφαιρικό. Στο μπροστινό μέρος του ματιού υπάρχει ο **κερατοειδής χιτώνας** και στο πίσω μέρος του ο **αμφιβληστροειδής χιτώνας**. Πίσω από τον κερατοειδή χιτώνα βρίσκεται ο **φακός** του ματιού και ανάμεσά τους μια μεμβράνη που περιέχει το **υδατώδες υγρό**. Μεταξύ του φακού και του αμφιβληστροειδούς χιτώνα (στο εσωτερικό του ματιού) υπάρχει το **υαλώδες σώμα**. Το εισερχόμενο στο μάτι φως διαθλάται κυρίως στη διαχωριστική επιφάνεια αέρα - κερατοειδή χιτώνα αλλά συμβάλλουν στην εστίαση, σε μικρότερο βαθμό, ο φακός και το υδατώδες υγρό. Μπροστά από τον φακό βρίσκεται η **ίριδα** που έχει το χρώμα των ματιών (καστανά, μπλε, πράσινα), στο κέντρο της οποίας υπάρχει μια οπή, η **κόρη** του ματιού, που φαίνεται μαύρη. Η κόρη του ματιού, ανοίγοντας ή κλείνοντας, προσαρμόζει την ένταση του φωτός που θα εισέλθει στο μάτι, όπως συμβαίνει και με το διάφραγμα σε μια φωτογραφική μηχανή.



**Εικόνα 3.2.26:** Μάτι.



**Εικόνα 3.2.27:** Τα μέρη του οφθαλμού.

Οι προερχόμενες από ένα αντικείμενο ακτίνες φωτός που θα προσπέσουν στο μάτι θα διαθλασθούν διαδοχικά μέσα από τον κερατοειδή χιτώνα, το υδατώδες υγρό, τον φακό και το υαλώδες σώμα για να καταλήξουν στον αμφιβληστροειδή χιτώνα όπου θα απορροφηθούν από τα εξειδικευμένα κύτταρα που ονομάζονται **κωνία** και **ραβδία**.

Σε ένα υγιές μάτι, η εικόνα του αντικειμένου σχηματίζεται πάνω στον αμφιβληστροειδή χιτώνα.

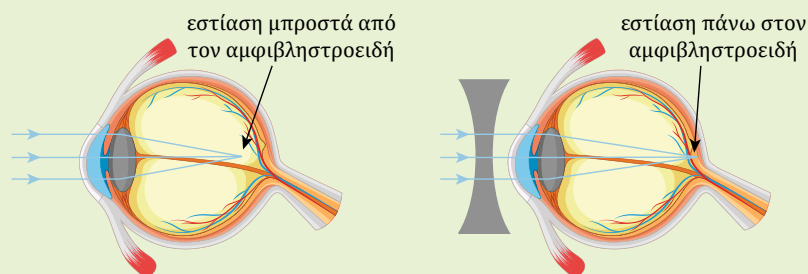
Η απόσταση του φακού από τον αμφιβληστροειδή χιτώνα είναι σταθερή, για αυτό η εστίαση επιτυγχάνεται με μεταβολή της εστιακής απόστασης του φακού με μια διαδικασία που λέγεται **προσαρμογή**. Το μάτι είναι προσαρμοσμένο να εστιάζει στα αντικείμενα που βρίσκονται μακριά χωρίς να χρειάζεται προσαρμογή. Μπορεί να εστιάσει σε αντικείμενα που βρίσκονται σε μια ελάχιστη απόσταση από αυτό (ελάχιστη απόσταση ευκρινούς εστίασης) η

οποία αυξανόμενης της ηλικίας γίνεται όλο και μεγαλύτερη (από 10cm σε άτομα ηλικίας μέχρι 20 ετών σε 40cm σε άτομα ηλικίας 50 ετών κ.ο.κ.). Αναλόγως της απόστασης του αντικειμένου από το μάτι και προκειμένου το είδωλο να σχηματισθεί ακριβώς πάνω στον αμφιβληστροειδή χιτώνα, η καμπυλότητα του φακού και επομένως και η εστιακή απόσταση του φακού προσαρμόζεται με τη βοήθεια μυών.

## Παθήσεις του ματιού και η διόρθωσή τους

Κάποιες από τις παθήσεις του ματιού οφείλονται σε ανατομικές ατέλειες του σχήματος του βολβού του ματιού (είναι μακρύτερος ή κοντύτερος) ή σε λανθασμένη καμπυλότητα του κερατοειδούς χιτώνα.

- Όταν ο κερατοειδής χιτώνας ενός οφθαλμού έχει μεγαλύτερη καμπυλότητα ή όταν ο βολβός του οφθαλμού είναι μακρύτερος, τότε ο οφθαλμός είναι μυωπικός και λέμε ότι ο ασθενής έχει **μυωπία**. Έτσι, το μυωπικό μάτι δεν εστιάζει σωστά στα αντικείμενα που βρίσκονται μακριά από το μάτι. Η εστίαση ενός μυωπικού οφθαλμού δεν γίνεται στον αμφιβληστροειδή χιτώνα, αλλά μπροστά από αυτόν.



Εικόνα 3.2.28: Διόρθωση μυωπικού οφθαλμού με αποκλίνοντα φακό.

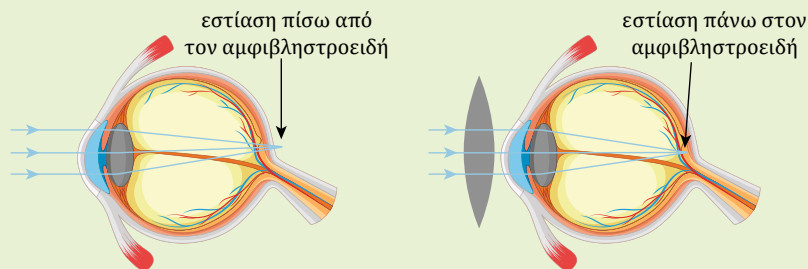
Για τη διόρθωση της μυωπίας χρησιμοποιούνται γυαλιά οράσεως (ή φακοί επαφής) που φέρουν κατάλληλους **αποκλίνοντες φακούς** ώστε οι φωτεινές ακτίνες να εστιάζουν πάνω στον αμφιβληστροειδή χιτώνα.

- Όταν ο κερατοειδής χιτώνας του οφθαλμού έχει μικρότερη καμπυλότητα ή όταν ο βολβός του οφθαλμού είναι κοντύτερος, τότε ο οφθαλμός είναι υπερμετρωπικός και λέμε ότι ο ασθενής έχει **υπερμετρωπία**. Έτσι το υπερμετρωπικό μάτι δεν εστιάζει σωστά τα αντικείμενα που βρίσκονται μακριά από το μάτι. Η εστίαση ενός υπερμετρωπικού οφθαλμού γίνεται πίσω από τον αμφιβληστροειδή χιτώνα.

Για τη διόρθωση της υπερμετρωπίας χρησιμοποιούνται γυαλιά οράσεως που φέρουν κατάλληλους **συγκλίνοντες φακούς** ώστε οι φωτεινές ακτίνες να εστιάζουν πάνω στον αμφιβληστροειδή χιτώνα.

Με την αύξηση της ηλικίας (συνήθως πάνω από 45 ετών περίπου) ο φακός του ματιού χάνει μέρος της ικανότητας προσαρμογής του μέσω των μυών οπότε προκαλείται **πρεσβυωπία**. Ένας ασθενής με πρεσβυωπία δεν μπορεί να εστιάσει στα αντικείμενα που βρίσκονται σε μικρές αποστάσεις, όπως για παράδειγμα διαβάζοντας ένα βιβλίο.

Για τη διόρθωση της πρεσβυωπίας χρησιμοποιούνται γυαλιά οράσεως που φέρουν κατάλληλους **συγκλίνοντες φακούς** (όπως και στην υπερμετρωπία) ώστε οι φωτεινές ακτίνες να εστιάζουν πάνω στον αμφιβληστροειδή χιτώνα.



Εικόνα 3.2.29: Διόρθωση πρεσβυωπικού οφθαλμού με συγκλίνοντα φακό.

- Η μη ομοιόμορφη καμπυλότητα του ματιού προκαλεί **αστιγματισμό** η οποία διορθώνεται με κατάλληλους **κυλινδρικούς φακούς**. Αν για παράδειγμα οι κυλινδρικοί φακοί έχουν οριζόντιο άξονα, δημιουργούν επιπλέον απόκλιση μόνο για τις ακτίνες που βρίσκονται σε κατακόρυφο επίπεδο, οπότε στον αμφιβληστροειδή εστιάζουν και οι οριζόντιες και οι κατακόρυφες γραμμές.

Ο κερατοειδής χιτώνας έχει δείκτη διάθλασης ίδιας τιμής με τον δείκτη διάθλασης του θαλασσινού νερού. Όταν είμαστε βυθισμένοι σε θαλασσινό νερό το μάτι χάνει το μεγαλύτερο μέρος της εστιακής του ικανότητας (συμπεριφέρεται τότε ως μυωπικό μάτι). Αυτό συμβαίνει γιατί είναι προσαρμοσμένο να εστιάζει ακτίνες προερχόμενες από τον αέρα προς το μάτι μας, οπότε τις ακτίνες που προέρχονται από το νερό δεν τις εστιάζει σωστά και η εικόνα του αντικειμένου που σχηματίζεται στον αμφιβληστροειδή είναι ασαφής. Αυτό αναιρείται όταν φοράμε μάσκα θαλάσσης, καθώς τότε οι ακτίνες του φωτός που προσπίπτουν στον κερατοειδή χιτώνα προέρχονται από τον αέρα που περιέχεται στη μάσκα. Παρόμοιο βέβαια πρόβλημα θα αντιμετωπίσουν τα ψάρια όταν βρεθούν έξω από το νερό, δεν θα βλέπουν καθαρά γιατί τα δικά τους μάτια έχουν προσαρμοστεί να εστιάζουν ακτίνες φωτός που προέρχονται από το νερό.



Προσομοίωση: Διόρθωση μυωπίας.



Προσομοίωση: Διόρθωση πρεσβυπίας.



## Διεπιστημονικές – Διαθεματικές Εφαρμογές της Θεωρίας, Γενίκευση, Εμπέδωση, Ερμηνείες με τον μικρόκοσμο

### 1. Αρχή ελαχίστου χρόνου του Fermat (Φερμά)

Το φως, όπως έχουμε αναφέρει και στο φαινόμενο της ανάκλασης, διαδίδεται σε ένα ομογενές μέσο ευθύγραμμα, ακολουθώντας, μέσω ανάκλασης, τη συντομότερη χρονικά διαδρομή από ένα σημείο σε κάποιο άλλο σημείο. Το ίδιο συμβαίνει και όταν το φως διαθλάται προσπίπτοντας στη διαχωριστική επιφάνεια δύο οπτικών μέσων στα οποία κινείται με διαφορετικές ταχύτητες. Δηλαδή ακολουθεί τη συντομότερη χρονικά διαδρομή για να μεταβεί από ένα σημείο του πρώτου μέσου σε ένα άλλο σημείο του δεύτερου μέσου.

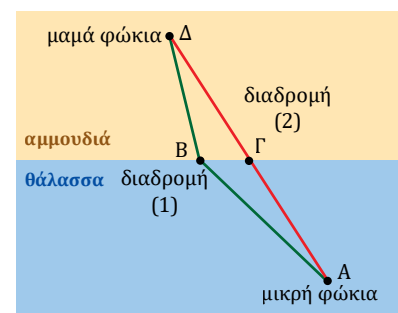
Στο φαινόμενο της ανάκλασης η συντομότερη χρονικά διαδρομή συμβαίνει να είναι ταυτόχρονα και η συντομότερη γεωμετρικά, καθώς το φως κινείται στο ίδιο μέσο με την ίδια ταχύτητα. Στο φαινόμενο της διάθλασης δεν συμβαίνει η συντομότερη χρονικά διαδρομή να είναι και η συντομότερη γεωμετρικά διαδρομή καθώς στα δύο διαφορετικά μέσα το φως κινείται με διαφορετικές ταχύτητες.

Ένα παράδειγμα που θα σε βοηθήσει να καταλάβεις την επιλογή της καταλληλότερης διαδρομής (χρονικά συντομότερης) λόγω των δύο διαφορετικών ταχυτήτων κίνησης είναι το παρακάτω:

Έστω ότι μια μικρή φώκια βρίσκεται στη θάλασσα στο σημείο (A) και θέλει να πάει όσο πιο γρήγορα γίνεται στο σημείο (Δ) της αμμουδιάς όπου βρίσκεται η μαμά της. Γνωρίζοντας ότι οι φώκιες κινούνται με μεγαλύτερη ταχύτητα στη θάλασσα παρά στην αμμουδιά θα επιλέξει τη διαδρομή (1) γιατί είναι η συντομότερη χρονικά (και ας μην είναι η συντομότερη γεωμετρικά).



Προσομοίωση: Αρχή του Fermat στη διάθλαση.



Εικόνα 3.2.30: Επιλογή συντομότερης διαδρομής.

Στη διαδρομή (1) από το σημείο (A) μέχρι το (B) θα κινηθεί σε μεγαλύτερη μεν διαδρομή στη θάλασσα αλλά με μεγαλύτερη ταχύτητα και από εκεί στο (Δ) σε μικρότερη διαδρομή, στην αμμουδιά, με μικρότερη ταχύτητα.

Αν επέλεγε τη διαδρομή (2) από το σημείο (A) μέχρι το σημείο (Γ) και από εκεί στο σημείο (Δ) θα ήταν βέβαια η συντομότερη γεωμετρικά αλλά δεν θα ήταν η συντομότερη χρονικά, καθώς αυτή η διαδρομή περιλαμβάνει ένα μεγαλύτερο τμήμα κίνησης στην αμμουδιά στην οποία η φώκια κινείται με μικρότερη ταχύτητα από ό,τι στη θάλασσα.

## 2. Φαινόμενη ανύψωση

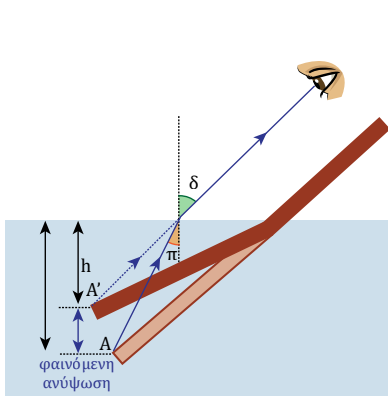
Πιθανότατα έχεις παρατηρήσει ότι ένα στιλό που είναι βυθισμένο σε ένα ποτήρι με νερό φαίνεται να είναι σπασμένο. Το τμήμα του αντικειμένου που είναι βυθισμένο στο νερό φαίνεται ανυψωμένο και παραμορφωμένο έχοντας μεγαλύτερες διαστάσεις (πιο παχύ).

Ας προσπαθήσουμε να εξηγήσουμε αυτήν την παρατήρηση. Φαντάσου την πορεία μιας ακτίνας φωτός από το σημείο (A) του στιλό που βρίσκεται βυθισμένο στο νερό προς το μάτι σου (M). Η ακτίνα φωτός από το σημείο (A) προσπίπτει στη διαχωριστική επιφάνεια νερού-αέρα υπό γωνία πρόσπτωσης  $\pi$ . Η ακτίνα φωτός θα διαθλασθεί στον αέρα έτσι ώστε η γωνία διάθλασης  $\delta$  να είναι μεγαλύτερη από τη γωνία πρόσπτωσης. Αυτό συμβαίνει επειδή ο αέρας είναι οπτικά αραιότερο μέσο σε σχέση με το νερό, οπότε η φωτεινή ακτίνα ξερχόμενη στον αέρα απομακρύνεται από την κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια νερού-αέρα.

Ο ανθρώπινος εγκέφαλος αντιλαμβάνεται ότι το φως διαδίδεται ευθύγραμμα. «Βλέπει» επομένως στην προέκταση των διαθλωμένων ακτίνων. Άρα «βλέπεις» το φως που ξεκίνησε από το σημείο (A), σαν να προέρχεται από το σημείο (A'). Αντιλαμβάνεται τη θέση του σημείου (A) να είναι στην προέκταση της ακτίνας που φτάνει στο μάτι σου δηλαδή από το σημείο (A'), που βρίσκεται υψηλότερα από το σημείο (A). Το ίδιο, αντίστοιχα, αντιλαμβάνεται να συμβαίνει και για όλα τα άλλα σημεία του στιλό που βρίσκονται βυθισμένα στο νερό. Έτσι τελικά ξεγελιόσαι «βλέποντας» το βυθισμένο τμήμα του στιλό να είναι ψηλότερα από την πραγματική του θέση. Δηλαδή αντιλαμβάνεται μια φαινόμενη ανύψωσή του.



Εικόνα 3.2.31α: Φαινόμενη ανύψωση.



Εικόνα 3.2.31β: Αναπαράσταση φαινόμενης ανύψωσης αντικειμένου βυθισμένου σε νερό.

**Φαινόμενη ανύψωση** παρατηρούμε να συμβαίνει κάθε φορά που το φως από ένα αντικείμενο φτάνει στα μάτια μας μέσω διάθλασης. Ένα ακόμη παράδειγμα φαινόμενης ανύψωσης συμβαίνει όταν βλέπουμε από την ακτή ένα ψάρι να κολυμπά μέσα στη θάλασσα. Η θέση του ψαριού μας φαίνεται ότι είναι υψηλότερα (λόγω φαινόμενης ανύψωσης) από την πραγματική του θέση. Συγχρόνως το ψάρι που παρατηρούμε φαίνεται να έχει μεγαλύτερες διαστάσεις από τις πραγματικές καθώς λόγω της φαινόμενης ανύψωσης φαίνεται πιο κοντά μας. Μας δίνει επομένως την αίσθηση πως έχει και μεγαλύτερο μέγεθος από το πραγματικό.

Ταυτόχρονα βέβαια και στο ψάρι φαίνεται ότι το κεφάλι του ανθρώπου, που το παρατηρεί έξω από το νερό, είναι σε υψηλότερη θέση από την πραγματική και πιο μεγάλο.

Επίσης, λόγω της φαινόμενης ανύψωσης, εξηγείται γιατί τα πόδια μας, ενώ έχουμε μπει μέχρι τη μέση στο νερό μιας πισίνας ή της θάλασσας, μας φαίνονται πιο κοντά σε μήκος και πιο παχιά από ό,τι πραγματικά είναι.

## 3. Αντικατοπτρισμός

Έχεις παρατηρήσει, όταν κινείσαι με αυτοκίνητο σε έναν ευθύγραμμο ασφαλτικό δρόμο, τις ζεστές ώρες μιας κα-



Προσομοίωση: Φαινόμενη ανύψωση ψαριού.



Αντικατοπτρισμός

λοκαιρινής ημέρας ότι ο δρόμος μακριά, μπροστά, φαίνεται να είναι βρεγμένος (να έχει νερά); Όταν όμως πλησιάσεις σε εκείνο το σημείο βλέπεις ότι ο δρόμος είναι στεγνός αλλά ταυτόχρονα φαίνεται βρεγμένος λίγο πιο μακριά, μπροστά σου. Το φυσικό οπτικό αυτό φαινόμενο λέγεται **(κατώτερος) αντικατοπτρισμός** και παρατηρείται όταν το έδαφος είναι πολύ θερμό με αποτέλεσμα και ο αέρας πάνω του να είναι θερμός, ενώ ψηλότερα από το έδαφος ο αέρας είναι αρκετά ψυχρότερος.



Εικόνα 3.2.32: Ο δρόμος φαίνεται βρεγμένος λόγω αντικατοπτρισμού.

#### 4. Ουράνιο τόξο

Το ουράνιο τόξο αποτελεί ένα οπτικό φαινόμενο που είναι αναμφίβολα ένα υπερθέαμα της φύσης, μαγεύοντάς μας κάθε φορά που «εμφανίζεται». Δυστυχώς όμως δεν εμφανίζεται κάθε μέρα. Ο λόγος είναι ότι για να το παρατηρήσεις πρέπει να ικανοποιούνται δύο προϋποθέσεις: να κοιτάς προς μια περιοχή του ουρανού που βρέχει ή έχει βρέξει αλλά υπάρχουν ακόμη αιωρούμενα σταγονίδια νερού στην ατμόσφαιρα και ταυτόχρονα να έχεις τον Ήλιο πίσω σου και χαμηλά στον ουρανό (κοντά στον ορίζοντα). Αυτό μπορεί να συμβεί στις πρωινές ή στις απογευματινές ώρες της ημέρας.

Ο σχηματισμός του ουράνιου τόξου οφείλεται στην ανάλυση του ηλιακού φωτός στα σταγονίδια της βροχής, καθένα από τα οποία συμπεριφέρεται σαν ένα μικρό πρίσμα. Καθώς μια ακτίνα λευκού φωτός εισέρχεται στη σταγόνα νερού αναλύεται, λόγω διάθλασης, στα χρώματα που αποτελούν το λευκό φως. Οι ακτίνες, κινούμενες στο εσωτερικό της σταγόνας, προσπίπτουν στο πίσω μέρος της όπου και ανακλώνται επιστρέφοντας στο μπροστινό της μέρος. Εκεί διαθλώνται για δεύτερη φορά εξερχόμενες στον αέρα.

Από κάθε σταγόνα φτάνει στα μάτια σου μια μόνο ακτίνα (ενός χρώματος), ενώ οι ακτίνες των άλλων χρωμάτων, από την ίδια σταγόνα, ή περνούν πάνω από τα μάτια σου ή κάτω από αυτά. Δεν βλέπεις δηλαδή από κάθε σταγόνα όλα τα χρώματα, αλλά μόνο ένα. Τα υπόλοιπα χρώματα τα βλέπεις από ακτίνες που προέρχονται από άλλες σταγόνες. Οι κόκκινες ακτίνες φτάνουν στα μάτια σου από σταγόνες της βροχής που βρίσκονται υψηλότερα στον ουρανό από τις αντίστοιχες σταγόνες που στέλνουν ιώδεις ακτίνες στα μάτια σου.

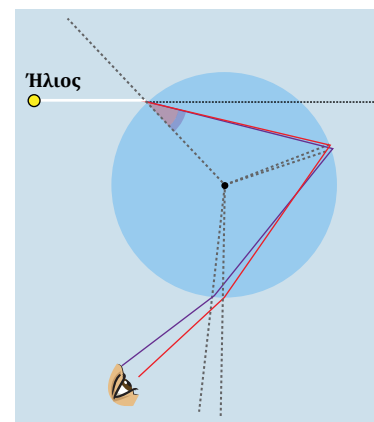
Η εικόνα του ουράνιου τόξου που βλέπεις κάθε φορά είναι μοναδική (είναι για τα μάτια σου μόνο). Ο καθένας δηλαδή βλέπει το δικό του ουράνιο τόξο.

Γιατί όμως το ουράνιο τόξο έχει αυτό το σχήμα; Όλες οι ακτίνες ενός χρώματος που φτάνουν στο μάτι σου σχηματίζουν έναν κώνο που έχει κορυφή το μάτι σου και η κυκλική του βάση τέμνει το επίπεδο του εδάφους έτσι ώστε τελικά να βλέπεις ένα τόξο, το ουράνιο τόξο.

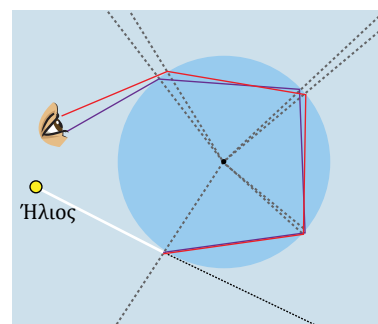


Εικόνα 3.2.34: Ουράνιο τόξο (διπλό).

Τις περισσότερες φορές βλέπεις δύο ουράνια τόξα. Το ένα εμφανίζεται χαμηλότερα και είναι πιο έντονο (πρωτεύον) και το άλλο εμφανίζεται ψηλότερα (δευτερεύον) και φαίνεται πιο αχνό από το κάτω (επειδή συμβαίνουν δύο ανακλάσεις στο εσωτερικό κάθε σταγόνας) και έχει τα χρώματά του με αντίθετη σειρά (κάτω, εσωτερικά του τόξου, εμφανίζεται το κόκκινο).



Εικόνα 3.2.33: Αναπαράσταση ανάλυσης λευκού φωτός από σταγόνα νερού (σε πρωτεύον ουράνιο τόξο).



Εικόνα 3.2.35: Αναπαράσταση ανάλυσης λευκού φωτός από σταγόνα νερού (σε δευτερεύον ουράνιο τόξο).

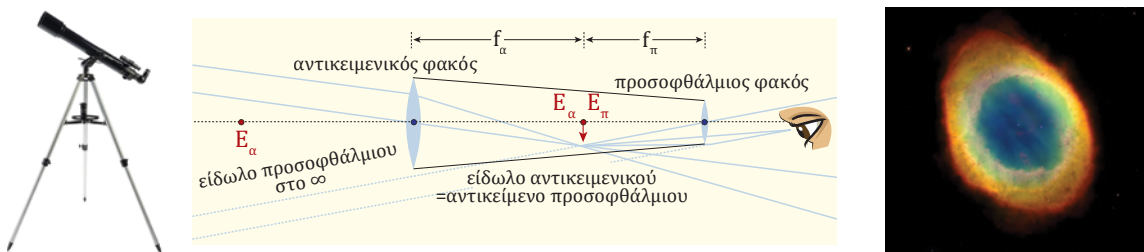
Αναλόγως βέβαια της θέσης παρατήρησης του ουράνιου τόξου μπορεί άλλες φορές να δεις ένα ημικύκλιο, άλλες φορές ένα τόξο μικρότερο από ημικύκλιο και άλλες φορές ένα τόξο μεγαλύτερο από ημικύκλιο. Αν πετούσες με αεροπλάνο και ήταν οι συνθήκες κατάλληλες για παρατήρηση ουράνιου τόξου, θα διαπίστωνες το ουράνιο τόξο να έχει το σχήμα ενός πλήρους κύκλου (ουράνιος κύκλος!).

### 5. Τηλεσκόπια διαθλαστικά (διοπτρικά)

Το τηλεσκόπιο είναι ένα οπτικό όργανο που χρησιμοποιείται για την παρατήρηση αντικειμένων με μεγάλες διαστάσεις που βρίσκονται σε πολύ μεγάλη απόσταση όπως είναι οι πλανήτες και τα άστρα. Τα πρώτα τηλεσκόπια που κατασκευάστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για αστρονομικές παρατηρήσεις ήταν διοπτρικά, δηλαδή χρησιμοποιούσαν δύο φακούς συγκεντρωτικούς (και ο Γαλιλαίος με ένα διοπτρικό τηλεσκόπιο έκανε τις παρατηρήσεις του).

Οι δύο φακοί ενός διοπτρικού τηλεσκοπίου είναι τοποθετημένοι στα δύο άκρα του σωλήνα του τηλεσκοπίου. Ο φακός στο άκρο του σωλήνα που σημαδεύει προς το παρατηρούμενο αντικείμενο λέγεται **αντικειμενικός φακός**. Ο φακός που βρίσκεται στο άλλο άκρο του σωλήνα μπροστά από το μάτι του παρατηρητή λέγεται **προσοφθάλμιος φακός**. Το είδωλο του αντικειμένου, που βρίσκεται σε πολύ μεγάλη απόσταση, σχηματίζεται από τον αντικειμενικό φακό στη δευτερεύουσα εστία του και είναι πραγματικό και αντεστραμμένο. Η δευτερεύουσα εστία του αντικειμενικού φακού ταυτίζεται με την κύρια εστία του προσοφθάλμιου φακού. Το είδωλο που σχηματίστηκε από τον αντικειμενικό φακό στη συνέχεια παίζει ρόλο αντικειμένου για τον προσοφθάλμιου φακό ο οποίος δημιουργεί το τελικό είδωλο που είναι μεγαλύτερο, αντεστραμμένο και σε πολύ μεγάλη απόσταση. Το μήκος του τηλεσκοπίου είναι ίσο με το άθροισμα των εστιακών αποστάσεων των δύο φακών.

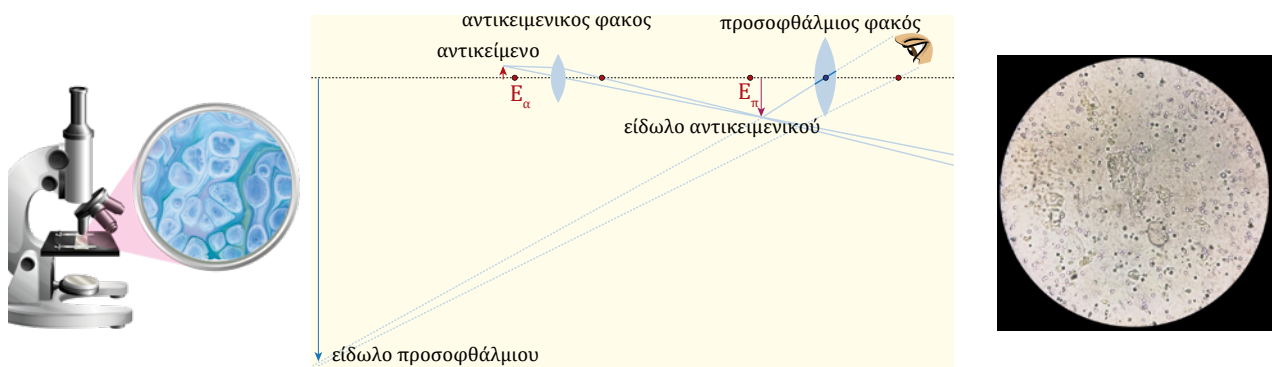
Το αντεστραμμένο είδωλο που δημιουργεί το τηλεσκόπιο δεν δημιουργεί πρόβλημα στην παρατήρηση ουράνιων αντικειμένων. Όταν όμως παρατηρούμε επίγεια αντικείμενα, τα αντεστραμμένα είδωλα είναι ενοχλητικά. Τοποθετώντας ανάμεσα στους φακούς ένα σύστημα δύο συγκλίνοντων φακών, τα αντιστρέφουμε ώστε να φαίνονται όρθια.



Εικόνα 3.2.36: Διοπτρικό τηλεσκόπιο, αναπαράσταση, εικόνα μέσω τηλεσκοπίου.

### 6. Μικροσκόπια (οπτικά)

Τα μικροσκόπια επιτρέπουν την παρατήρηση αντικειμένων πολύ μικρών διαστάσεων που βρίσκονται σε μικρές αποστάσεις και τα οποία, ενώ είναι αόρατα στο γυμνό μάτι, μπορούν να μεγεθυνθούν ώστε να είναι ορατά. Το μικροσκόπιο δεν είναι απλά ένας ισχυρός μεγεθυντικός φακός. Ο μεγεθυντικός φακός μεγεθύνει αντικείμενα που είναι ήδη ορατά στο μάτι, αλλά θέλουμε να δούμε λεπτομέρειές τους μεγεθύνοντάς τα μερικές φορές με τη χρήση ενός φακού. Το μικροσκόπιο είναι συνδυασμός δύο συγκεντρωτικών φακών. Στην πραγματικότητα οι δύο φακοί είναι σύνθετοι (αποτελούνται από συνδυασμό απλών φακών), αλλά για λόγους απλότητας τους δείχνουμε στο σχήμα με απλούς λεπτούς φακούς. Ο ένας φακός είναι μπροστά από το αντικείμενο και λέγεται **αντικειμενικός φακός** ενώ ο δεύτερος που είναι μπροστά από το μάτι του παρατηρητή λέγεται **προσοφθάλμιος φακός**. Το αντικείμενο τοποθετείται μπροστά από τον αντικειμενικό φακό λίγο μακρύτερα από την κύρια εστία του ώστε το είδωλο που θα σχηματιστεί να είναι πραγματικό, αντεστραμμένο και λίγο μεγαλύτερο. Η απόσταση των δύο φακών είναι τέτοια ώστε το είδωλο από τον αντικειμενικό φακό να σχηματίζεται κοντά στην κύρια εστία του προσοφθάλμιου φακού. Το είδωλο αυτό χρησιμοποιείται ως αντικείμενο για τον προσοφθάλμιου φακό και σχηματίζεται ένα τελικό είδωλο το οποίο είναι μεγεθυμένο (έως και 1.000 φορές), φανταστικό, αντεστραμμένο σε μεγάλη απόσταση. Το αντεστραμμένο είδωλο που δημιουργεί το μικροσκόπιο δεν είναι πρόβλημα στην παρατήρηση μικροσκοπικών αντικειμένων.



Εικόνα 3.2.37: Μικροσκόπιο, αναπαράσταση, εικόνα μέσω μικροσκοπίου.

### 7. Υγροί φακοί

Οι συμβατικοί στερεοί φακοί δυσκολεύονται να σχηματίσουν ευκρινείς εικόνες σε εφαρμογές που απαιτούν γρήγορες και μεγάλης ακρίβειας επαναλαμβανόμενες εστιάσεις. Οι υγροί φακοί ξεπερνούν αυτούς τους περιορισμούς εστιάζοντας γρήγορα και με ακρίβεια, προσαρμοζόμενοι σε αντικείμενα που βρίσκονται σε μεταβαλλόμενες αποστάσεις. Είναι μικρές κυψέλες που περιέχουν οπτικό υγρό (λάδι) οι οποίες αλλάζουν το σχήμα τους όταν στα άκρα τους εφαρμόζεται κατάλληλη τάση. Προκαλείται με αυτόν τον τρόπο αλλαγή της καμπυλότητας του φακού και επομένως και αλλαγή της εστιακής του απόστασης, καταφέροντας να εστιάζουν μέσα σε χιλιοστά του δευτερολέπτου. Η κατασκευή υγρών φακών έχει φέρει «επανάσταση» στη χρήση φακών.



Βίντεο 3.2.11: Εξαφάνισε το κέρμα.



Βίντεο 3.2.12: Εμφάνισε το κέρμα.



Βίντεο 3.2.13: Αντίστρεψε τη φορά του βέλους.



Ενδοσκόπιο και ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

#### Διασκεδαστικές δράσεις με το φαινόμενο διάθλασης

**Πρόταση δραστηριότητας:** Μπορείς να δεις το φάσμα ανάλυσης του ηλιακού φωτός και με άλλους τρόπους. Κράτησε ένα CD έτσι ώστε να πέφτει το ηλιακό φως στη γυαλιστερή πλευρά του CD και παρατήρησε τα χρώματα του φάσματος στην επιφάνειά του.

Εννοιολογικός Χάρτης



Ενότητας 3.2

## Ερωτήσεις

1. Γράψε το γράμμα (Σ) στο τέλος κάθε πρότασης που είναι σωστή και το γράμμα (Λ) στο τέλος κάθε πρότασης που είναι λανθασμένη.

- i. Για να παρατηρήσουμε ουράνιο τόξο πρέπει να κοιτάμε προς τον Ήλιο και πίσω μας να βρέχει.
- ii. Για να παρατηρήσουμε ουράνιο τόξο πρέπει να κοιτάμε προς την περιοχή που βρέχει και πίσω μας να είναι ο Ήλιος.
- iii. Η σειρά των χρωμάτων στο φάσμα ανάλυσης του λευκού φωτός είναι κόκκινο, πράσινο, κίτρινο, πορτοκαλί, μπλε και ιώδες.
- iv. Η σειρά των χρωμάτων στο φάσμα ανάλυσης του λευκού φωτός είναι κόκκινο, πορτοκαλί, κίτρινο, πράσινο, μπλε, και ιώδες.

2. Γράψε το γράμμα (Σ) στο τέλος κάθε πρότασης που είναι σωστή και το γράμμα (Λ) στο τέλος κάθε πρότασης που είναι λανθασμένη.

- i. Όταν κοιτάμε τον πυθμένα μιας πισίνας με νερό από έξω, μας φαίνεται ότι η πισίνα είναι πιο βαθιά από ό,τι είναι στην πραγματικότητα.
- ii. Όταν κοιτάμε τον Ήλιο τη στιγμή που δύει, η θέση στην οποία μας φαίνεται ότι βρίσκεται εκείνη τη στιγμή δεν είναι η πραγματική, γιατί στην πραγματικότητα έχει ήδη δύσει.
- iii. Όταν μια ζεστή καλοκαιρινή ημέρα βλέπουμε να φαίνεται βρεγμένος ο ασφάλτινος δρόμος μπροστά μας, αυτό το φαινόμενο λέγεται αντικατοπτρισμός.
- iv. Ένα τηλεσκόπιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως μικροσκόπιο αν κοιτάξουμε από το πίσω μέρος του.
- v. Ένας άνθρωπος με πρόβλημα μυωπίας, για να το διορθώσει, πρέπει να χρησιμοποιήσει γυαλιά οράσεως που έχουν συγκλίνοντες φακούς.

3. Γράψε το γράμμα (Σ) στο τέλος κάθε πρότασης που είναι σωστή και το γράμμα (Λ) στο τέλος κάθε πρότασης που είναι λανθασμένη.

- i. Ο δείκτης διάθλασης ενός οπτικού μέσου εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης των φωτεινών ακτίνων σε αυτό.
- ii. Ο δείκτης διάθλασης ενός οπτικού μέσου εξαρτάται από το χρώμα της φωτεινής ακτίνας που διαδίδεται σε αυτό.
- iii. Όταν μια φωτεινή ακτίνα μεταβαίνει από ένα οπτικά αραιότερο σε ένα οπτικά πυκνότερο μέσο, η γωνία διάθλασης είναι πάντοτε μικρότερη από τη γωνία πρόσπτωσης.
- iv. Όταν μια φωτεινή ακτίνα μεταβαίνει από ένα οπτικά πυκνότερο σε ένα οπτικά αραιότερο μέσο, η γωνία διάθλασης είναι πάντοτε μικρότερη από τη γωνία πρόσπτωσης.

4. Γράψε το γράμμα (Σ) στο τέλος κάθε πρότασης που είναι σωστή και το γράμμα (Λ) στο τέλος κάθε πρότασης που είναι λανθασμένη.

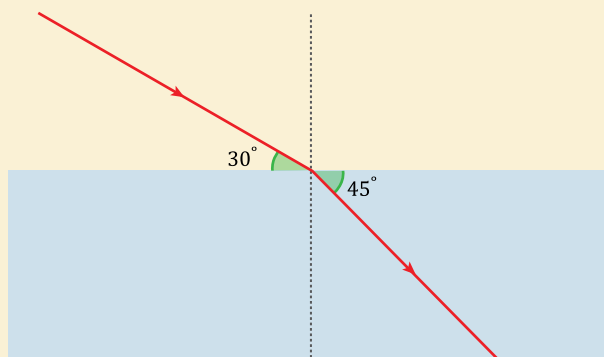
- i. Όταν η γωνία πρόσπτωσης μιας φωτεινής ακτίνας στη διαχωριστική επιφάνεια δύο οπτικών μέσων μειώνεται, η γωνία διάθλασης αυξάνεται.
- ii. Όταν το φως προσπίπτει κάθετα στη διαχωριστική επιφάνεια δύο οπτικών μέσων, δεν διαθλάται.
- iii. Όταν μια φωτεινή ακτίνα μεταβαίνει από τον αέρα στο νερό, δεν υφίσταται ποτέ ολική εσωτερική ανάκλαση.
- iv. Όταν μια φωτεινή ακτίνα μεταβαίνει από το νερό στο γυαλί, είναι δυνατόν να υποστεί ολική εσωτερική ανάκλαση.
- v. Για να χτυπήσεις με ψαροντούφεκο ένα ψάρι που βλέπεις μέσα στη θάλασσα πρέπει να στοχεύεις στην εικόνα του.
- vi. Για να σημαδέψεις με laser ένα ψάρι που βλέπεις μέσα στη θάλασσα, πρέπει να στοχεύεις στην εικόνα του.

5. Απάντησε στις παρακάτω ερωτήσεις κάνοντας αναφορά στο φαινόμενο της Φυσικής και στους νόμους που το διέπουν.

- Γιατί το να πετάμε γυάλινα μπουκάλια ή σπασμένα γυαλιά στο δάσος είναι επικίνδυνο;
- Γιατί πρέπει να πλένουμε το αυτοκίνητο στη σκιά και όχι με λιακάδα;
- Γιατί μέσα στο θαλασσινό νερό με τα μάτια μας ανοικτά δεν βλέπουμε καθαρά, ενώ όταν φοράμε μάσκα θαλάσσης η όρασή μας είναι κανονική;

### Ασκήσεις

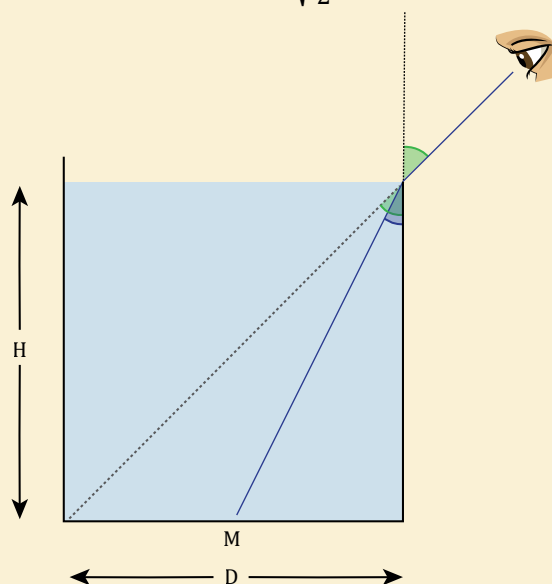
- Μια ακτίνα φωτός διαδίδεται στον αέρα και προσπίπτει στην επιφάνεια νερού υπό γωνία  $60^\circ$ . Να σχεδιάσεις τη διεύθυνση της ανακλώμενης ακτίνας και τη διεύθυνση της διαθλώμενης ακτίνας στο νερό (κατ' εκτίμηση), εξηγώντας τις σχεδιαστικές επιλογές σου.
- Μια ακτίνα φωτός που διαδίδεται στον αέρα προσπίπτει στην επιφάνεια ενός οπτικού μέσου. Αν γνωρίζεις ότι η γωνία πρόσπτωσης είναι  $50^\circ$  και η γωνία διάθλασης είναι  $30^\circ$  να υπολογίσεις την τιμή του δείκτη διάθλασης του οπτικού μέσου.
- Μια φωτεινή ακτίνα, που διαδίδεται στον αέρα, προσπίπτει από τον αέρα σε ένα οπτικό μέσο και διαθλάται όπως φαίνεται στο σχήμα. Να υπολογίσεις τον δείκτη διάθλασης του οπτικού μέσου.



### Προβλήματα

- Στο παρακάτω σχήμα, ένας παρατηρητής βρίσκεται σε τέτοια θέση ώστε μόλις να βλέπει τη γωνία του άδειου δοχείου. Όταν το δοχείο γεμίσει εντελώς με κάποιο διαφανές υγρό, ο παρατηρητής χωρίς να μετακινηθεί, διακρίνει το κέντρο  $M$  του πυθμένα. Αν το ύψος  $H$  του υγρού στο δοχείο είναι ίσο με τη διάμετρο  $D$  του δοχείου, να υπολογίσεις τον δείκτη διάθλασης του υγρού.

Δίνεται για τις πράξεις  $\sqrt{\frac{5}{2}} = 1,58$

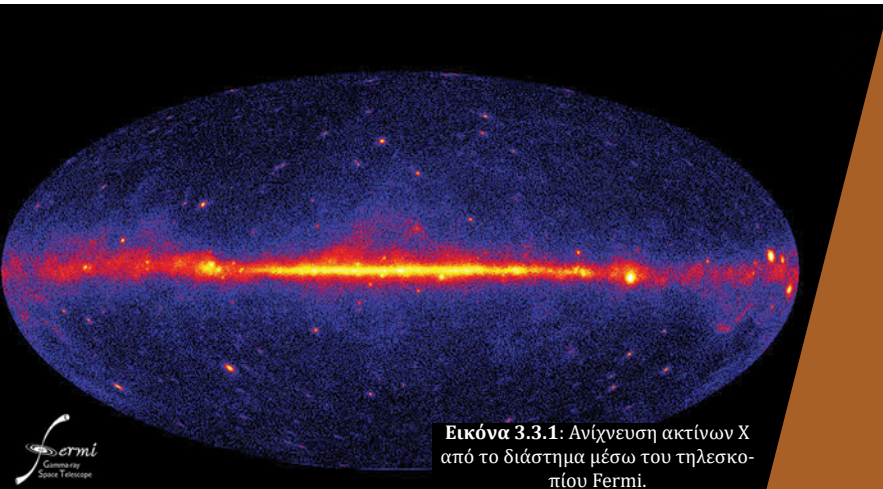


Επιπλέον  
Υλικό



Διάθλαση.

## 3.3 Ηλεκτρομαγνητικά κύματα και φως



Εικόνα 3.3.1: Ανίχνευση ακτίνων X από το διάστημα μέσω του τηλεσκοπίου Fermi.

### Μετά από αυτή την ενότητα θα είσαι σε θέση να:

1. αναγνωρίζεις το ορατό φως ως τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.
2. αναφέρεις τα βασικά χαρακτηριστικά των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.
3. αναφέρεις τη θεμελιώδη κυματική εξίσωση.
4. αναγνωρίζεις τις βασικές κατηγορίες ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, να τις κατατάσσεις ως προς τη συχνότητα ή το μήκος κύματος και να δίνεις παραδείγματα εφαρμογών.



Σκέψου μια ηλιόλουστη ημέρα ότι είσαι σε μια παραλία στην οποία σπάνε τα κύματα της θάλασσας. Περιπατάς στην καυτή άμμο που εκπέμπει υπέρυθρη ακτινοβολία, μιλώντας με το κινητό σου τηλέφωνο που εκπέμπει και λαμβάνει ραδιοκύματα μέσω μιας κεραίας κινητής τηλεφωνίας, ενώ η υπεριώδης ακτινοβολία του Ήλιου σε μαυρίζει.



Εικόνα 3.3.2: Ζούμε μέσα σε μια «θάλασσα» ακτινοβολιών – κυμάτων.



Εικόνα 3.3.3: Μέτρηση ταχύτητας αυτοκινήτων μέσω radar της τροχαίας.



Εικόνα 3.3.4: Η θερμική κάμερα εντοπίζει διαρροές θερμότητας.



**Για τις δραστηριότητες της παραγράφου αυτής θα χρειαστούν:**  
Τηλεκοντρόλ τηλεόρασης, συσκευή κινητού τηλεφώνου, λυχνία UV (black light), χαρτονόμισμα, ακτινογραφία χεριού.


### Ας αναρωτηθούμε

1. Τι είναι οι ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες; Είναι όλες επιβλαβείς;
2. Πώς οι αστρονόμοι καταγράφουν πληροφορίες των άστρων που είναι αόρατες στα μάτια μας;
3. Πώς λειτουργούν τα ραντάρ ελέγχου ταχύτητας;
4. Πώς καταφέρνουν οι θερμικές κάμερες να καταγράφουν τις θερμοκρασίες των σωμάτων από απόσταση;




## Φωτογραφίζοντας μια αόρατη ακτινοβολία

### Πρακτική δραστηριότητα:

 Μπορείς να φωτογραφίσεις μια ακτινοβολία που δεν βλέπεις;



 Κράτησε το τηλεκοντρόλ της τηλεόρασης έτσι ώστε να βλέπεις το **μπροστινό του μέρος** (και τη λυχνία του). Χρησιμοποίησε το τηλεκοντρόλ πατώντας κάποια από τα πλήκτρα του.

Βλέπεις να εκπέμπεται φως από τη λυχνία του τηλεκοντρόλ όταν πατάς κάποιο πλήκτρο;



Εικόνα 3.3.5: Λυχνία led υπέρυθρων ακτίνων του τηλεκοντρόλ.


Ενεργοποίησε τη φωτογραφική μηχανή του κινητού τηλεφώνου. Χρησιμοποίησε το τηλεκοντρόλ πατώντας τα πλήκτρα του. Ταυτόχρονα, κοιτάζοντας την οθόνη του κινητού σου τηλεφώνου, δες και **φωτογράφησε** το μπροστινό μέρος του τηλεκοντρόλ.

Παρατήρησε τη φωτογραφία που κατέγραψε η κάμερα του κινητού τηλεφώνου.

Είδες να εκπέμπεται φως από τη λυχνία του τηλεκοντρόλ;




Βίντεο 3.3.1: Δες τις αόρατες ακτίνες που εκπέμπει το τηλεκοντρόλ.

 Η κάμερα του κινητού τηλεφώνου κατέγραψε τις ..... ακτίνες που εκπέμπει η λυχνία του τηλεκοντρόλ όταν επικοινωνεί με τη συσκευή τηλεόρασης.

## Ανιχνεύοντας τη γνησιότητα των χαρτονομισμάτων

### Πρακτική δραστηριότητα:

 Μπορείς να δεις τα αόρατα σημάδια γνησιότητας των χαρτονομισμάτων;





Παρατήρησε ένα χαρτονόμισμα.

**Άναψε τη λάμπα UV** πάνω από ένα χαρτονόμισμα.

Βλέπεις στο χαρτονόμισμα σχήματα-σημάδια που πριν δεν έβλεπες;

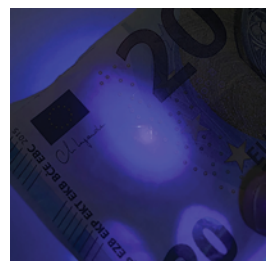
.....

Όταν σβήσεις τη λάμπα UV συνεχίζεις να βλέπεις τα σχήματα-σημάδια;

.....



Στα χαρτονόμισμα έχουν εκτυπωθεί με ειδικό μελάνι (φθορίζον) κάποια σημάδια τα οποία είναι αόρατα στα μάτια μας. Όταν στις φθορίζουσες ουσίες προσπέσουν ακτίνες ..... γίνονται ορατά τα ..... για όσο χρόνο προσπίπτουν οι ακτίνες.



Εικόνα 3.3.6: Ακτίνες UV σε χαρτονόμισμα.



## Διάβασε μια ακτινογραφία

### Πρακτική δραστηριότητα:



Τι μπορείς να δεις σε μια ακτινογραφία;

.....



Παρατήρησε την **ακτινογραφία** του χεριού ενός ασθενούς που φαίνεται στην εικόνα (3.3.7).



Εικόνα 3.3.7: Ακτινογραφία χεριού ασθενούς.

Παρατήρησε τα οστά. Τι χρώμα φαίνεται να έχουν;

.....

Παρατήρησε τους ιστούς (τους μύες του χεριού).

Τι χρώμα φαίνεται να έχουν;

.....

Εντοπίζεις κάποιο πρόβλημα στα οστά του ασθενούς;

.....

Κάνε τη διάγνωσή σου για το πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο ασθενής. ....

.....



Σε μια ακτινογραφία παρατηρούμε ότι τα οστά φαίνονται ..... και οι ιστοί φαίνονται σε αποχρώσεις του .....



Βίντεο 3.3.2: Δες τα αόρατα σημάδια στα χαρτονόμισμα.

## Μετρώντας την αόρατη ενέργεια

### Ψηφιακή δραστηριότητα:



Εκτός από το φως που μεταφέρει ενέργεια, μεταφέρουν ενέργεια και τα υπόλοιπα ηλεκτρομαγνητικά κύματα;





Θα χρειαστεί να αξιοποιήσεις την προσομοίωση με τίτλο: πείραμα **Herschel**.

Παρατηρείς το φάσμα ανάλυσης του λευκού φωτός που περνά μέσα από πρίσμα. **Εμφάνισε το θερμόμετρο.**

Παρατήρησε και **κατάγραψε** την ένδειξη του θερμομέτρου που βρίσκεται στην περιοχή του ορατού φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Η ένδειξη είναι: .....

**Μετακίνησε το θερμόμετρο** στην περιοχή πάνω από τις ακτίνες του κόκκινου χρώματος. Τι παρατηρείς σχετικά με τη θερμοκρασία που καταγράφει το θερμόμετρο;

Είναι η ίδια με προηγουμένως; .....

**Κατάγραψε** την ένδειξη του θερμομέτρου .....



Σε ποιο συμπέρασμα καταλήγεις ερμηνεύοντας τις ενδείξεις της θερμοκρασίας στην περιοχή πάνω από το ορατό φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας;

.....  
.....



Προσομοίωση: Πείραμα  
Herschel.



## Ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες ή ηλεκτρομαγνητικά κύματα;

Το φως είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα που διαδίδονται στον χώρο. Αλλά ηλεκτρομαγνητικά κύματα δεν είναι μόνο το φως. Είναι και η υπέρυθη ακτινοβολία που εκπέμπει το τηλεκοντρόλ, η υπεριώδης ακτινοβολία του black light και οι ακτίνες που χρησιμοποιούνται για τη λήψη των ακτινογραφιών.

Μιλάμε άλλοτε για **Ηλεκτρομαγνητικά Κύματα** και άλλοτε για **Ηλεκτρομαγνητικές Ακτινοβολίες**. Ουσιαστικά πρόκειται για τις ίδιες έννοιες τις οποίες, αν μελετάμε ως προς τον τρόπο διάδοσής τους τις λέμε κύματα, ενώ αν τις μελετάμε ως προς τη διάδοση της ενέργειας, τις λέμε ακτινοβολίες.

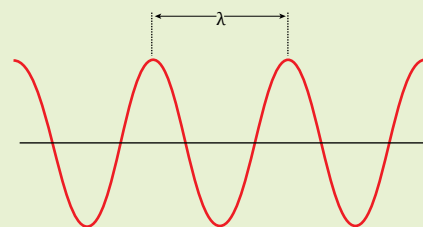
Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα δημιουργούνται από ταλαντούμενα και επομένως επιταχυνόμενα ηλεκτρικά φορτία. Τα ταλαντούμενα με συχνότητα  $f$  ηλεκτρικά φορτία δημιουργούν ηλεκτρομαγνητικά κύματα ίδιας συχνότητας, που διαδίδονται στο κενό με ταχύτητα  $c$ , μεταφέροντας ενέργεια  $E$ . Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι εγκάρσια κύματα. Εξαιτίας της ταλάντωσης των φορτίων προκαλούνται μεταβολές ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου σε διευθύνσεις κάθετες μεταξύ τους και κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος.

Επομένως τα κυριότερα χαρακτηριστικά των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων-ακτινοβολιών είναι:

- η ταχύτητα διάδοσης  $c$
- η συχνότητα  $f$
- το μήκος κύματος  $\lambda$  και
- η μεταφερόμενη ενέργεια  $E$

Όλα τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ταξιδεύουν στο κενό με την ταχύτητα του φωτός ( $c$ ) και διαφέρουν στις τιμές της συχνότητας, του μήκους κύματος και της ενέργειας που μεταφέρουν τα φωτόνια της κάθε ακτινοβολίας.

**Μήκος κύματος** είναι η απόσταση ανάμεσα σε δύο διαδοχικές κορυφές του κύματος (στα εγκάρσια κύματα).



Εικόνα 3.3.8: Κορυφές εγκάρσιου κύματος.

**Συχνότητα** είναι ο ρυθμός με τον οποίο δημιουργούνται αυτές οι κορυφές.

Μονάδα μέτρησης της συχνότητας στο S.I. είναι το 1Hz (Hertz, Χερτζ).

Για τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ισχύει η **θεμελιώδης εξίσωση της κυματικής** που συνδέει την ταχύτητα διάδοσής τους  $c$  με το μήκος κύματός τους  $\lambda$  και τη συχνότητα  $f$ .

$$c = \lambda \cdot f \quad (3.3.1)$$

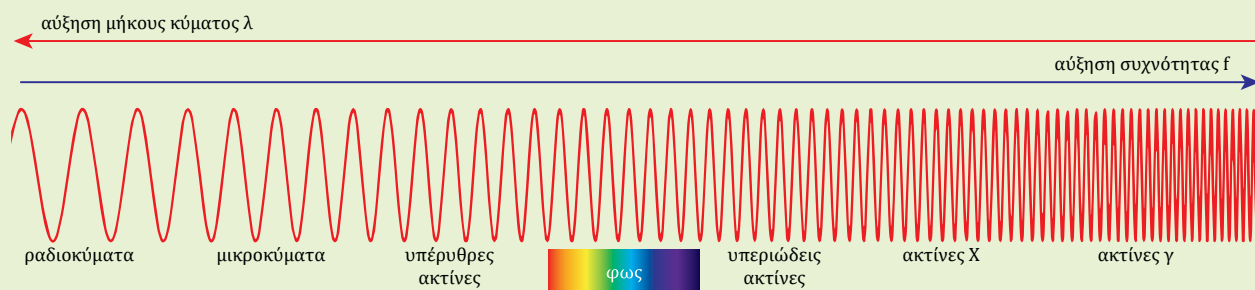
Όσο πιο μικρό είναι το μήκος κύματός τους, τόσο πιο υψηλή είναι η συχνότητά τους.

Η ενέργεια  $E$  της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι ανάλογη της συχνότητας  $f$ . Συνεπώς όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα, τόσο περισσότερη ενέργεια μεταφέρει το κύμα.

Ανάλογα με τη συχνότητά τους, οι ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες χωρίζονται σε κατηγορίες. Ξεκινώντας από τις μικρές τιμές συχνότητας (και ενέργειας) προς μεγαλύτερες, χωρίζονται σε: ακτινοβολία ραδιοκυμάτων, ακτινοβολία μικροκυμάτων, υπέρυθρη ακτινοβολία, ορατό φως, υπεριώδης ακτινοβολία, ακτινοβολία ακτίνων X, ακτινοβολία ακτίνων  $\gamma$ .

Στο σχήμα της εικόνας (3.3.9), από αριστερά προς τα δεξιά αυξάνεται η συχνότητα  $f$  (ενώ αντίστοιχα μειώνεται το μήκος κύματος  $\lambda$ ).

Όλες μαζί οι κατηγορίες (μορφές) της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας συγκροτούν το λεγόμενο **φάσμα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας**.



## Ραδιοκύματα

Τα ραδιοκύματα είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα που εκπέμπονται από τις κεραιές των ραδιοφωνικών και τηλεοπτικών σταθμών. Παράγονται στις κεραιές ραδιοφώνου, τηλεόρασης από ταλαντούμενα (επιταχυνόμενα) ηλεκτρόνια, κατά μήκος τους. Κάθε σταθμός εκπέμπει σε συγκεκριμένη συχνότητα με την οποία οι συσκευές των ραδιοφώνων και των τηλεοράσεων μπορούν να συντονιστούν ακούγοντας ή βλέποντας το σήμα που εκπέμπει ο σταθμός. Ραδιοκύματα δημιουργούνται και στο διάστημα και διαδιδόμενα έρχονται και στη Γη. Οι αστρονόμοι χρησιμοποιώντας ειδικά τηλεσκόπια που λέγονται ραδιοτηλεσκόπια παίρνουν πληροφορίες για φαινόμενα που συνέβησαν στο διάστημα και δημιούργησαν αυτά τα ραδιοκύματα.

Έχουν συχνότητες από 1kHz (μήκος κύματος 1km) ως 100MHz (μήκος κύματος 1m).

## Μικροκύματα

Χρησιμοποιούνται σε συστήματα ραντάρ από τα οποία εκπέμπονται μικροκύματα που ανακλώνται στα αντικείμενα (για παράδειγμα σε ένα αεροπλάνο που πετά ή σε ένα αυτοκίνητο που κινείται στην Εθνική Οδό). Ανιχνεύοντας



**Εικόνα 3.3.9:** Κεραιές κινητής τηλεφωνίας.

τα ανακλώμενα από τα αντικείμενα μικροκύματα λαμβάνονται πληροφορίες όπως το μέγεθος και η ταχύτητα με την οποία κινούνται.

Στους φούρνους μικροκυμάτων εκπέμπονται μικροκύματα κατάλληλης συχνότητας που απορροφώνται από τα μόρια του νερού, που περιέχονται στα τρόφιμα, τα οποία ταλαντώνονται οπότε αυξάνεται η θερμική τους ενέργεια. Με αυτόν τον τρόπο ζεσταίνουμε ή μαγειρεύουμε φαγητό καθώς οι περισσότερες τροφές περιέχουν νερό.



Εικόνα 3.3.11: Φούρνος μικροκυμάτων.

Το Σύμπαν κατακλύζεται από ακτινοβολία μικροκυμάτων, η οποία ονομάζεται **ακτινοβολία υποβάθρου**. Ανακαλύφθηκε από τους A. Penzias και R. Wilson το 1965 και αποτελεί υπόλειμμα της ακτινοβολίας που εξέπεμπε το Σύμπαν, περίπου 380.000 χρόνια μετά το Big Bang (Μεγάλη Έκρηξη).

Οι ηλεκτρονικές συσκευές, όπως είναι τα κινητά τηλέφωνα, οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές κ.ά. επικοινωνούν ασύρματα (Bluetooth, wifi) μέσω μικροκυμάτων συχνότητας 2,4 GHz.

Έχουν συχνότητες από 100MHz (μήκος κύματος 1m) ως 100GHz (μήκος κύματος 1mm).



Εικόνα 3.3.10: Κεραία ραντάρ.

## Υπέρυθρες ακτίνες (IR)

Τα τηλεκοντρόλ συσκευών εκπέμπουν υπέρυθρες ακτίνες. Π.χ. το τηλεκοντρόλ της τηλεόρασης, που εκπέμποντας υπέρυθρες ακτίνες επικοινωνεί με τη συσκευή τηλεόρασης, στέλνοντάς της σήμα για να αλλάξει τηλεοπτικό σταθμό. Το ανθρώπινο μάτι δεν είναι προσαρμοσμένο να βλέπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με συχνότητες που ανήκουν στην υπέρυθρη ακτινοβολία, όπως αυτή που εκπέμπει το τηλεκοντρόλ. Η φωτογραφική μηχανή του κινητού τηλεφώνου όμως είναι ευαίσθητη και στην υπέρυθρη ακτινοβολία και μπορεί να την καταγράφει, όπως παρατηρήσαμε σε προηγούμενη δραστηριότητα.

Οποιοδήποτε ζεστό σώμα εκπέμπει υπέρυθρη ακτινοβολία. Η υπέρυθρη ακτινοβολία μπορεί να μετρηθεί και να απεικονιστεί από ειδικές συσκευές παρέχοντας χρήσιμες πληροφορίες.

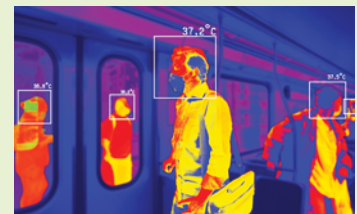
Η απεικόνιση της υπέρυθρης ακτινοβολίας με θερμικές κάμερες χρησιμοποιείται σε επιθεωρήσεις κτιρίων για ενδεχόμενες διαρροές θερμότητας και νερού, στην ανίχνευση της υγρασίας και των κενών της μόνωσής τους.



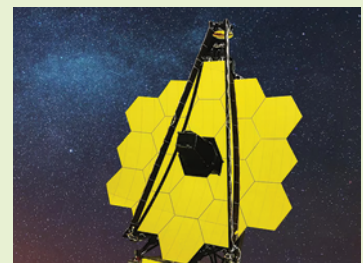
Εικόνα 3.3.14: Καταγραφή της υπέρυθρης ακτινοβολίας γαλαξία.

Με τα κιάλια νυκτός μπορούμε να ανιχνεύσουμε τις υπέρυθρες ακτίνες που εκπέμπονται από ανθρώπους ή ζώα. Τα κιάλια νυκτός «μετατρέπουν» τις υπέρυθρες ακτίνες σε ορατό φως.

Μια θερμική κάμερα, μέσω κατάλληλου αισθητήρα, συλλέγει την υπέρυθρη ακτινοβολία και την αναπαριστά με ταυτόχρονες θερμοκρασιακές ενδείξεις. Οι θερμικές κάμερες μπορούν να εντοπίσουν αυξημένη θερμοκρασία σε διάφορα σημεία του ανθρώπινου σώματος, επιτυγχάνοντας ανίχνευση εμπύρετων ανθρώπων. Έχουν εγκατασταθεί σε πολυσύχναστα σημεία ελεγχόμενης πρόσβασης, όπως είναι τα νοσοκομεία και τα αεροδρόμια ελέγχοντας, γρήγορα, τους ανθρώπους για το αν έχουν πυρετό. Στην περίπτωση ανίχνευσης εμπύρετου ανθρώπου δεν του επιτρέπεται η είσοδος στον χώρο αποφεύγοντας με αυτόν τον τρόπο τη διάδοση κάποιας ασθένειας (όπως συνέβαινε στην εποχή της Covid 19).



Εικόνα 3.3.12: Μέτρηση θερμοκρασίας με θερμική κάμερα, για εντοπισμό εμπύρετων πολιτών.



Εικόνα 3.3.13: Το τηλεσκόπιο James Webb Space Telescope.

Τα θερμόμετρα υπέρυθρων ακτίνων μας δίνουν τη δυνατότητα μέτρησης της θερμοκρασίας ενός σώματος από κάποια απόσταση χωρίς άμεση επαφή με αυτό.

Τα άστρα εκπέμπουν και υπέρυθρες ακτίνες τις οποίες μπορούμε να ανιχνεύσουμε και να καταγράψουμε μέσω τηλεσκοπίων, όπως είναι το James Webb Space Telescope το οποίο βρίσκεται έξω από την ατμόσφαιρα της Γης, αντλώντας πληροφορίες για τα άστρα και τους γαλαξίες (εικόνα 3.3.16).

Δορυφόροι που κινούνται γύρω από τη Γη καταγράφουν και υπέρυθρες ακτίνες που εκπέμπονται από την επιφάνειά της παρέχοντας χρήσιμες πληροφορίες. Για παράδειγμα, στη διάρκεια μιας μεγάλης δασικής πυρκαγιάς βοηθούν στον εντοπισμό των εστιών της φωτιάς καθώς εξαιτίας του καπνού είναι αδύνατο αυτές να εντοπιστούν οπτικά.

Έχουν συχνότητες από 100GHz (μήκος κύματος 1mm) ως  $10^{14}$ Hz (μήκος κύματος 1μm).

## Ορατό ή φως

Ο Ήλιος εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μέρος της οποίας είναι το φως.

Ως φως αναφερόμαστε στο μοναδικό τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας το οποίο μπορεί να γίνει αισθητό (ορατό) από το ανθρώπινο μάτι. Τις διαφορετικές συχνότητες του φωτός τις αντιλαμβάνεται ως διαφορετικά χρώματα.

Έχει συχνότητες από 400THz (μήκος κύματος 740nm) ως 800THz (μήκος κύματος 380nm). Για να αντιληφθούμε το πόσο μικρό είναι ένα μήκος κύματος του φωτός, αρκεί να σκεφτούμε για παράδειγμα ότι σε 1 mm χωρούν 50.000 μήκη κύματος μιας πράσινης ακτίνας φωτός με μήκος κύματος 500nm.

## Υπεριώδεις ακτίνες (UV)

Τα πολύ ζεστά σώματα, όπως είναι ο Ήλιος, εκπέμπουν υπεριώδη ακτινοβολία τα φωτόνια της οποίας μεταφέρουν ενέργεια μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του φωτός.

Η μεγαλύτερη ενέργεια που μεταφέρουν οι υπεριώδεις ακτίνες σε σχέση με το φως έγινε αντιληπτή στη δραστηριότητα ελέγχου της γνησιότητας των χαρτονομισμάτων. Τα χαρτονομίσματα έχουν τυπωμένα κάποια σημάδια με φθορίζον μελάνι που είναι αόρατα από τα μάτια μας όταν προσπίπτει πάνω τους φως. Όταν στα χαρτονομίσματα προσπέσουν υπεριώδεις ακτίνες, τα αόρατα φθορίζοντα σημάδια θα εκπέμψουν φως και θα μπορούσαμε να τα παρατηρήσουμε. Η παρατήρηση διαρκεί όσο χρόνο προσπίπτουν υπεριώδεις ακτίνες στις φθορίζουσες ουσίες. Φθορίζουσες ουσίες υπάρχουν και σε άλλα υλικά (μαρκαδόροι υπογράμμισης κειμένου, απορρυπαντικά ρούχων) τα οποία όταν φωτίζονται εκπέμπουν πλουσιότερο χρωματικά φως.

Οι υπεριώδεις ακτίνες χρησιμοποιούνται στην ιατροδικαστική για την ανίχνευση κηλίδων αίματος στα ρούχα. Χρησιμοποιούνται από τους οδοντιάτρους στη συσκευή σκλήρυνσης του υλικού των σφραγισμάτων των δοντιών.

Οι υπεριώδεις ακτίνες χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: τις UVA (μικρής ενέργειας, όπως το black light που είναι ασφαλής η χρήση του), τις UVB (μέτριας ενέργειας) και τις UVC (υψηλής ενέργειας).

Το μεγαλύτερο μέρος του υπεριώδων ακτίνων που προέρχονται από τον Ήλιο απορροφάται στη στρατόσφαιρα από το όζον (όλη η UVC και μέρος της UVB). Οι UVB υπεριώδεις ακτίνες, μέσω της ενέργειάς τους, προκαλούν χημικές αντιδράσεις στην επιδερμίδα μας που παράγουν μελανίνη προκαλώντας το μαύρισμά της. Η μελανίνη μειώνει τη διείσδυση των UVB στο σώμα μας παρέχοντας προστασία από αυτές. Παράλληλα δίνουν την απαραίτητη ενέργεια στον οργανισμό μας για να παράγει βιταμίνη D. Όμως η υπερβολική και μακροχρόνια έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία είναι επικίνδυνη καθώς μπορεί να προκαλέσει καρκίνο του δέρματος.

Οι UVC υπεριώδεις ακτίνες χρησιμοποιούνται στην αποστείρωση ιατρικών εργαλείων και στην αποστείρωση δικτύων ύδρευσης καθώς διασπών το DNA και το RNA των παθογόνων μικροοργανισμών, καταστρέφοντάς τους.

Έχουν συχνότητες από 800THz (μήκος κύματος 380nm) ως  $10^{16}$ Hz (μήκος κύματος 10nm).

## Ακτίνες X

Παράγονται από ταχέως κινούμενα ηλεκτρόνια, όταν αυτά επιβραδύνονται προσκρούοντας σε δύστηκτα μέταλλα (που έχουν μεγάλη θερμοκρασία τήξης).

Αξιοποιούνται για ιατρικούς σκοπούς. Χρησιμοποιούνται στη λήψη ακτινογραφιών και αξονικών τομογραφιών αλλά και για την καταστροφή καρκινικών όγκων.

Οι ακτίνες X είναι αρκετά διεισδυτικές, έτσι μπορούν να διαπερνούν σώματα που έχουν στοιχεία με μικρό ατομικό αριθμό, όπως είναι οι μύες του σώματός μας (περιέχουν υδρογόνο H, οξυγόνο O, άνθρακα C), αλλά απορροφώνται από σώματα που έχουν στοιχεία με μεγάλο ατομικό αριθμό όπως είναι τα οστά μας (περιέχουν ασβέστιο Ca, μαγνήσιο Mg).

Για τη λήψη μιας ακτινογραφίας τοποθετούμε μια κατάλληλη επιφάνεια στο πίσω μέρος του σώματος που θέλουμε να ακτινογραφήσουμε. Κατά τη λήψη της ακτινογραφίας (που διαρκεί κλάσματα του δευτερολέπτου) φτάνουν στην επιφάνεια μόνο οι ακτίνες X που διαπέρασαν το σώμα. Καταφέρνουμε έτσι να εμφανισθεί στην επιφάνεια η μορφή των μυών και των οστών ώστε να ελεγχθούν για τυχόν βλάβες. Καθώς οι ακτίνες X διαπερνούν τους ιστούς (ένα μέρος τους απορροφάται) φτάνουν στην επιφάνεια πίσω τους και τη μαυρίζουν. Οι ακτίνες X απορροφώνται από τα οστά, οπότε η επιφάνεια πίσω τους φαίνεται άσπρη.

Η λήψη ακτινογραφιών είναι γενικά επικίνδυνη, οπότε έχουν τεθεί περιορισμοί στον αριθμό των ακτινογραφιών που μπορεί να κάνει κάποιος άνθρωπος στη διάρκεια ενός έτους. Το ιατρικό προσωπικό που εργάζεται στους χώρους λήψης ακτινογραφιών στέκεται πίσω από μολύβδινα πετάσματα (ο μολύβδος έχει μεγάλο ατομικό αριθμό) και φορά μολύβδινες ποδιές για να προστατεύεται κατά τη διάρκεια της λήψης των ακτινογραφιών.

Μια διαδεδομένη χρήση των ακτίνων X γίνεται στον έλεγχο ασφάλειας των αεροδρομίων όπου οι υπάλληλοι ασφαλείας χωρίς να ανοίγουν τις αποσκευές των επιβατών μπορούν να βλέπουν το εσωτερικό τους, αποτρέποντας τη μεταφορά επικίνδυνων αντικειμένων. Χρησιμοποιούνται σε βιομηχανίες για τον έλεγχο μηχανικών κατασκευών. Για παράδειγμα ελέγχονται τα φτερά ενός αεροσκάφους με ακτίνες X, για τυχόν σπασίματα, ραγίσματα ή φθορές που δεν φαίνονται με το μάτι και οι οποίες θα μπορούσαν να προκαλέσουν κάποιο ατύχημα.

Οι αστρονόμοι χρησιμοποιούν τηλεσκόπια ακτίνων X παρατηρώντας το διάστημα και προσπαθούν να εντοπίσουν πηγές εκπομπής ακτίνων X. Οι ανιχνευόμενες ακτίνες X ενδεχομένως να προέρχονται από την περιοχή μιας μαύρης τρύπας, καθώς η ύλη που επιταχύνεται ελικοειδώς γύρω από μια μαύρη τρύπα εκπέμπει ακτίνες X.

Οι ακτίνες X ανακαλύφθηκαν από τον Röntgen (Ρέντγκεν).

Έχουν συχνότητες από  $10^{17}$ Hz (μήκος κύματος 10nm) ως  $10^{20}$ Hz (μήκος κύματος 1pm).

## Ακτίνες γ

Εκπέμπονται κατά τη διάρκεια πυρηνικών αντιδράσεων από ορισμένους ραδιενεργούς πυρήνες και σε πυρηνικές εκρήξεις. Είναι εξαιρετικά διεισδυτικές και προκαλούν σοβαρές βλάβες όταν απορροφώνται από τους ιστούς έμβιων οργανισμών. Αναλόγως της δόσης της ακτινοβολίας γ μπορεί να προκληθεί και άμεσος θάνατος όπως συνέβη στις εκρήξεις πυρηνικών βομβών στη Χιροσίμα και το Ναγκαασάκι το 1945.

Έχουν συχνότητες από  $10^{20}$ Hz (μήκος κύματος 1pm) ως  $10^{22}$ Hz (μήκος κύματος 0,01pm).



Εικόνα 3.3.15: Το σήμα προειδοποιεί για πηγή ραδιενέργειας.

## Ακτινοβολίες στην αίθουσα

### Πρακτική δραστηριότητα:



Στην αίθουσα μαθημάτων υπάρχουν ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες. Είναι επικίνδυνη η παραμονή σου στον χώρο λόγω των ακτινοβολιών που υπάρχουν;





**Κατάγραψε** ποια είδη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας υπάρχουν στον χώρο της αίθουσας.

.....  
.....

**Χαρακτήρισε** αυτές τις ακτινοβολίες. Σε ποιες περιοχές του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ανήκουν;

.....  
.....

Ποιες είναι οι πηγές που τις δημιούργησαν;

.....  
.....

Είναι επικίνδυνες κάποιες από αυτές τις ακτινοβολίες που κατέγραψες;

.....



Γράψε το συμπέρασμά σου για την επικινδυνότητα της παραμονής σου στην αίθουσα:

.....  
.....  
.....  
.....



## **Διεπιστημονικές – Διαθεματικές Εφαρμογές της Θεωρίας, Γενίκευση, Εμπέδωση, Ερμηνείες με τον μικρόκοσμο**

### **1. Ηλιοθερμικά συστήματα και διαφορές από τα φωτοβολταϊκά συστήματα**

Η τεχνολογία των ηλιοθερμικών συστημάτων δεν είναι ίδια με την τεχνολογία των ηλιακών πάνελ ή των φωτοβολταϊκών.

Τα φωτοβολταϊκά ηλιακά πάνελ μετατρέπουν απευθείας το φως του Ήλιου σε ηλεκτρική ενέργεια η οποία μπορεί έως έναν βαθμό και να αποθηκευτεί.

Τα ηλιοθερμικά συστήματα συγκεντρώνουν το φως από τον Ήλιο για να θερμάνουν κάποιο ρευστό. Η θερμική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί και στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για τη λειτουργία μιας θερμικής μηχανής (κινητήρα), παράγοντας τελικά ηλεκτρική ενέργεια. Το ρευστό που θερμαίνεται από το ηλιακό φως μπορεί να είναι νερό, λάδι, αέρας κ.ά. Οι θερμικές μηχανές (κινητήρες) μπορεί να είναι ατμομηχανές, αεριοστρόβιλοι κ.ά.

Τα φωτοβολταϊκά ηλιακά πάνελ είναι αποτελεσματικά μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Πρέπει να γίνεται άμεση αξιοποίηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ή αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας.

Επειδή η αποθήκευση θερμικής ενέργειας είναι μια πολύ πιο εύκολη και αποτελεσματική διαδικασία, καθιστά τα ηλιοθερμικά συστήματα ελκυστικά για μεγάλης κλίμακας παραγωγή ενέργειας. Αξιοποιώντας τη θερμική ενέργεια που έχει αποθηκευτεί κατά τη διάρκεια της ημέρας τη μετατρέπουν σε ηλεκτρική ενέργεια ακόμη και στη διάρκεια της νύχτας.

## 2. Φάσματα

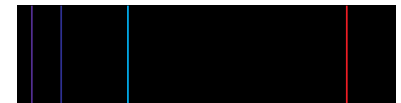
Όταν το φως που εκπέμπεται από ένα σώμα διέρχεται από ένα πρίσμα (όπως έγινε και στη δραστηριότητα ανάλυσης του ηλιακού φωτός από πρίσμα), τότε αναλύεται στο φάσμα του. Παρατηρώντας το φως που εκπέμπεται από ένα σώμα μέσω ειδικών οργάνων που λέγονται φασματοσκόπια παίρνουμε πληροφορίες για το σώμα.

### •Φάσματα Εκπομπής

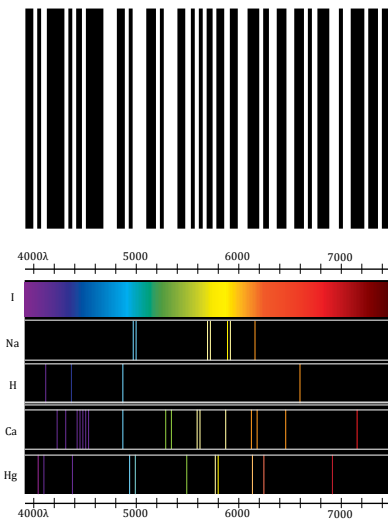
Τα στερεά, υγρά ή αέρια σώματα όταν βρίσκονται σε πολύ μεγάλη θερμοκρασία (διάπυρη κατάσταση) εκπέμπουν φως, που όταν εισέλθει στο φασματοσκόπιο, εξερχόμενο θα μας δώσει το φάσμα του που ονομάζεται φάσμα εκπομπής του σώματος. **Το φάσμα εκπομπής των στερεών και των υγρών** σωμάτων σε διάπυρη κατάσταση είναι **συνεχές φάσμα**, δηλαδή δεν παρουσιάζει σκοτεινές γραμμές, αλλά τα χρώματα είναι συνέχεια το ένα του άλλου (όπως και στο φάσμα ανάλυσης του λευκού φωτός από το πρίσμα).



Εικόνα 3.3.16: Συνεχές φάσμα εκπομπής στερεού μεγάλης θερμοκρασίας (πλήρες χρωμάτων).



Εικόνα 3.3.17: Γραμμικό φάσμα εκπομπής αερίου Η (σειρά από έγχρωμες φασματικές γραμμές σε σκούρο φόντο).



Εικόνα 3.3.18: Γραμμικά φάσματα εκπομπής αερίων και γραμμικό σύστημα καταγραφής (barcode).

Το φάσμα εκπομπής των σωμάτων αυτών δεν είναι το ίδιο σε όλες τις θερμοκρασίες. Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία ενός σώματος αρχικά εκπέμπονται υπέρυθρες ακτίνες (δεν φαίνεται κάποια αλλαγή στο χρώμα στο σώματος). Όταν η θερμοκρασία του σώματος γίνει περίπου 500°C εκπέμπει ερυθρά ακτινοβολία (το χρώμα του γίνεται κόκκινο) και αν η θερμοκρασία του αυξηθεί περαιτέρω εμφανίζονται και τα υπόλοιπα χρώματα του ορατού φάσματος (το χρώμα του γίνεται λευκό). Σε ακόμη μεγαλύτερες θερμοκρασίες το σώμα εκπέμπει και υπεριώδη ακτινοβολία.

Το φάσμα εκπομπής των στερεών και υγρών δεν είναι χαρακτηριστικό του υλικού του σώματος που ακτινοβολεί. Σώματα από διαφορετικά υλικά που βρίσκονται όμως στην ίδια θερμοκρασία εμφανίζουν ίδιας μορφής συνεχές φάσμα εκπομπής.

**Το φάσμα εκπομπής των αερίων** σωμάτων είναι **γραμμικό φάσμα**. Αποτελείται από διακεκριμένες έγχρωμες γραμμές (ραβδώσεις) οι οποίες χαρακτηρίζουν μοναδικά (αποκλειστικά) το κάθε αέριο.

Επομένως, είναι δυνατόν τα αέρια που περιέχονται σε ένα μείγμα αερίων να ταυτοποιηθούν μέσω των χαρακτηριστικών γραμμικών φασμάτων εκπομπής τους που είναι μοναδικά για το κάθε αέριο του μείγματος.

Για παράδειγμα, το φάσμα του υδρογόνου (H) στην ορατή περιοχή του φάσματος αποτελείται από τέσσερις έγχρωμες φωτεινές διακεκριμένες γραμμές (εικόνα 3.3.17). Τα φάσματα εκπομπής των αερίων προέρχονται από άτομα αερίων ή ατμών που βρίσκονται σε κατάσταση διέγερσης.

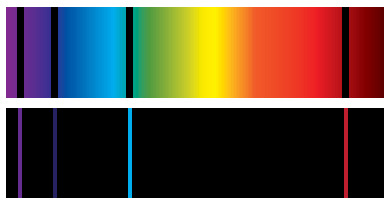
Ένα αντίστοιχο παράδειγμα για τη μοναδικότητα των γραμμών είναι το γραμμωτό σύστημα καταγραφής των προϊόντων (**barcode**) σύμφωνα με το οποίο κάθε προϊόν έχει το δικό του μοναδικό barcode που αναγνωρίζεται αυτομάτως από τη μηχανή στο ταμείο ενός supermarket.

### •Φάσματα Απορρόφησης

Το λευκό φως όταν διέλθει διαμέσου κάποιου διαφανούς σώματος (στερεού, υγρού ή αερίου) ορισμένες, όχι όλες, από τις ακτινοβολίες (συχνότητες) του θα απορροφηθούν από το σώμα (συμβαίνει δηλαδή επιλεκτική απορρόφηση). Επομένως, αν αναλύσουμε με φασματοσκόπιο το φως που διέρχεται από το σώμα, θα παρατηρήσουμε ότι από το φάσμα του λείπουν εντελώς ορισμένες (ακτινοβολίες) συχνότητες. Αυτά τα φάσματα λέγονται φάσματα απορρόφησης και διακρίνονται σε συνεχή και γραμμικά φάσματα απορρόφησης.



Εικόνα 3.3.19: Φάσμα απορρόφησης στερεού.



**Εικόνα 3.3.20:** Γραμμικό φάσμα απορρόφησης (μια σειρά από σκοτεινές φασματικές γραμμές μεταξύ των χρωμάτων του συνεχούς φάσματος) (πάνω) και εκπομπής (σειρά από έγχρωμες φασματικές γραμμές σε σκούρο φόντο, κάτω) αερίου Η (κάτω).

Τα στερεά και τα υγρά σώματα απορροφούν από το λευκό φως ολόκληρες περιοχές του συνεχούς φάσματος και παρέχουν έτσι συνεχή φάσματα απορρόφησης στα οποία παρατηρούνται μεγάλες, χαρακτηριστικές σκοτεινές περιοχές. Τα έγχρωμα φίλτρα για παράδειγμα επιτρέπουν τη διέλευση μόνο σε ορισμένα χρώματα απορροφώντας κάποια άλλα. Επομένως το φως διέρχόμενο μέσα από τα φίλτρα δίνει φάσμα στο οποίο λείπουν κάποιες ακτινοβολίες (συχνότητες) εκτός από εκείνες που διήλθαν από το φίλτρο.

Συνεχή φάσματα απορρόφησης λαμβάνονται από έγχρωμη γυάλινη πλάκα, έγχρωμη πλάκα κάποιου ορυκτού, έγχρωμο διάλυμα υγρού ή στερεού, οπτικά φίλτρα τα οποία επιτρέπουν την επιλεκτική διέλευση ορισμένων μόνο περιοχών από ακτινοβολίες (συχνότητες) του ορατού φάσματος.

Τα **αέρια** και οι **ατμοί**, όταν ανάμεσά τους διέρχεται λευκό φως, παρέχουν **γραμμικό φάσμα απορρόφησης** το οποίο παρουσιάζει ορισμένες σκοτεινές γραμμές στις αντίστοιχες θέσεις των φωτεινών γραμμών του φάσματος της εκπομπής τους. Για παράδειγμα, το φάσμα απορρόφησης του αερίου υδρογόνου (H) παρουσιάζει 4 σκοτεινές γραμμές ακριβώς στις θέσεις που βρίσκονταν οι 4 έγχρωμες φωτεινές γραμμές του φάσματος εκπομπής του.

1. Εκτός από τη διάκριση των ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών με κριτήριο τη συχνότητά τους, χωρίζονται και σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τις ιονίζουσες και τις μη ιονίζουσες ακτινοβολίες με κριτήριο της βιολογικές τους επιπτώσεις.

### α. Ιονίζουσες ακτινοβολίες

Οι ιονίζουσες ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες έχουν συχνότητα μεγαλύτερη από αυτή του ορατού φωτός (είναι μικρότερου μήκους κύματος) και μεταφέρουν πολλή ενέργεια. Στην κατηγορία των ιονιζουσών ακτινοβολιών περιλαμβάνονται οι υπεριώδεις ακτίνες, οι ακτίνες X και οι ακτίνες γ (ραδιενέργεια). Είναι κατά κανόνα επικίνδυνες, διότι μπορούν να προκαλέσουν ιονισμό, δηλαδή διάσπαση των δεσμών του DNA των κυττάρων και επομένως γενετικές ανωμαλίες και καρκίνο.

### β. Μη ιονίζουσες ακτινοβολίες

Οι μη ιονίζουσες ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες έχουν συχνότητα μικρότερη ή ίση με του ορατού φωτός (είναι μεγαλύτερου ή ίσου μήκους κύματος) και μεταφέρουν σχετικά λίγη ενέργεια. Δεν μπορούν επομένως να διασπάσουν χημικούς δεσμούς στα μόρια των κυττάρων, όμως είναι δυνατόν να αυξήσουν τη θερμική ενέργεια των ιστών. Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται τα ραδιοκύματα, τα μικροκύματα, οι υπέρυθρες ακτίνες και το ορατό φως. Τέτοιες είναι οι ακτινοβολίες που εκπέμπονται από ραδιοτηλεοπτικούς πομπούς, από κεραίες κινητής τηλεφωνίας, από ραντάρ, από ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές όπως τα κινητά τηλέφωνα.

### 2. Φάσματα Απορρόφησης από αστέρια

Το φως του Ήλιου από τον πυρήνα του κινείται προς τα έξω. Καθώς οι εσωτερικές περιοχές του Ήλιου έχουν υψηλή θερμοκρασία και πυκνότητα το φως του δίνει συνεχές φάσμα. Ωστόσο, όταν το φως φτάσει στην περιοχή χαμηλής πυκνότητας της ηλιακής ατμόσφαιρας που ονομάζεται χρωμόσφαιρα, κάποια από τα χρώματα του φωτός απορροφώνται. Έτσι, όταν οι αστρονόμοι μελετούν το φάσμα του Ήλιου αλλά και των άλλων αστεριών, βλέπουν ένα φάσμα απορρόφησης (λόγω της απορρόφησης από τη χρωμόσφαιρα) και κάνοντας φασματοσκοπική ανάλυση προσδιορίζουν τη σύνθεση των αερίων που περιέχει ο Ήλιος ή ο αστέρας το φάσμα του οποίου μελετούν.



Ιδιοκατασκευή  
φασματοσκοπίου.

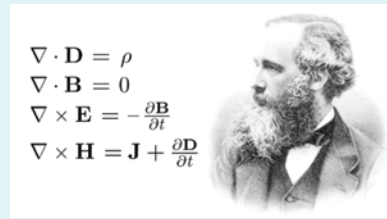
### 3. Ενοποίηση Ηλεκτρισμού και Μαγνητισμού – Εξισώσεις Maxwell

Πριν από το 1820 οι ηλεκτρικές και οι μαγνητικές δυνάμεις θεωρούνταν ως δυο τελείως ξεχωριστές αλληλεπιδράσεις.

- Το 1785 ο **Coulomb** (Κουλόμπ) κατάφερε να ανακαλύψει τον νόμο της ηλεκτρικής δύναμης ανάμεσα σε δύο ηλεκτρικά φορτία.
- Το 1819 ο **Oersted** (Έρστεντ) παρατήρησε ότι το ηλεκτρικό ρεύμα επιδρά σε μια μαγνητική βελόνα.
- Το 1820 ο **Ampere** (Αμπέρ) με τη χρήση δυο παράλληλων ηλεκτρικών ρευμάτων κατάφερε να ανακαλύψει τη μαγνητική δύναμη.
- Το 1831 ο **Faraday** (Φαραντέι) μέσω των πειραμάτων που πραγματοποίησε παρατήρησε ότι η κίνηση ενός μαγνήτη προκαλεί ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα κύκλωμα.
- Το 1864 ο **Maxwell** (Μάξγουελ) παρουσίασε την ηλεκτρομαγνητική του θεωρία ερμηνεύοντας τον ηλεκτρισμό και τον μαγνητισμό ως δύο εκδηλώσεις μιας και μοναδικής, ενοποιημένης ηλεκτρομαγνητικής δύναμης. Προέβλεψε την ύπαρξη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και επίσης, έδειξε ότι το φως είναι ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

Η **ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Maxwell** συνδέει το ηλεκτρικό πεδίο και το μαγνητικό πεδίο με τις πηγές που τα δημιουργούν. Πηγή του ηλεκτρικού πεδίου δεν είναι μόνο τα ηλεκτρικά φορτία αλλά και τα μεταβαλλόμενα μαγνητικά πεδία. Πηγή του μαγνητικού πεδίου δεν είναι μόνο τα ρεύματα αλλά και τα μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά πεδία. Οι μεταβολές του ενός πεδίου προκαλούν τη δημιουργία του άλλου. Το μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο δημιουργεί μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο και το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο με τη σειρά του δημιουργεί μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο. Δηλαδή το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο μπορεί να «αυτοσυντηρηθεί» χωρίς να χρειάζεται η πηγή που αρχικά το δημιούργησε. Οι μεταβολές αυτές των δύο πεδίων διαδίδονται ταυτόχρονα στον χώρο με ταχύτητα η οποία στο κενό είναι ίση με την ταχύτητα του φωτός  $c$ .

Το 1877 ο **Hertz** (Χερτζ) παρήγαγε ηλεκτρομαγνητικά κύματα (ραδιοκύματα).



Εικόνα 3.3.21: Οι εξισώσεις του και ο Maxwell.



Χρονογραμμή: Η εξέλιξη των ιδεών προς την ενοποίηση του ηλεκτρισμού και του μαγνητισμού.



Αντικλεπτικές  
θήκες.

Ακολούθησε τον σύνδεσμο για να ανακαλύψεις έναν τρόπο προστασίας από Hi-Tech κακόβουλες επιθέσεις.



Φρυκτωρίες.

Οι τηλεπικοινωνίες, μέσα σε 3000 χρόνια, άλλαξαν απλώς μήκος κύματος.

Εννοιολογικός Χάρτης



Ενότητας 3.3

## Ερωτήσεις

1. Γράψε το γράμμα (Σ) στο τέλος κάθε πρότασης που είναι σωστή και το γράμμα (Λ) στο τέλος κάθε πρότασης που είναι λανθασμένη.

- i. Οι ακτίνες X έχουν μεγαλύτερο μήκος κύματος από τις υπέρυθρες ακτίνες.
- ii. Τα ραδιοκύματα έχουν μεγαλύτερες συχνότητες από τις υπεριώδεις ακτίνες.
- iii. Οι συσκευές κινητών τηλεφώνων εκπέμπουν ακτίνες γ.
- iv. Η λήψη ακτινογραφιών γίνεται με μικροκύματα.
- v. Οι ακτινογραφίες χρησιμοποιούνται από τους ιατρούς στη διάγνωση κάποιων βλαβών στα οστά ενός ασθενούς.

2. Γράψε το γράμμα (Σ) στο τέλος κάθε πρότασης που είναι σωστή και το γράμμα (Λ) στο τέλος κάθε πρότασης που είναι λανθασμένη.

- i. Οι ακτίνες γ εκπέμπονται από ραδιενεργούς πυρήνες κατά τη διάρκεια μιας πυρηνικής έκρηξης.
- ii. Οι ακτίνες γ είναι επικίνδυνες καθώς μπορούν να προκαλέσουν αλλοιώσεις στο DNA.
- iii. Μέσω της μελέτης των φασμάτων εκπομπής οι αστρονόμοι ανιχνεύουν τα στοιχεία που υπάρχουν στην επιφάνεια κάποιου μακρινού άστρου.
- iv. Τα φάσματα εκπομπής και απορρόφησης είναι μοναδικά για κάθε αέριο.
- v. Η μονάδα μέτρησης της συχνότητας στο S.I. είναι το 1 Hz.

Επιπλέον  
Υλικό



Ηλεκτρομαγνητικά κύματα.

### Σύνοψη κεφαλαίου 3

- Το φως, σύμφωνα με την κβαντική θεωρία, αποτελείται από **φωτόνια** (ή κβάντα φωτός). Το κάθε φωτόνιο μεταφέρει ενέργεια  $E$ .
- Μια πολύ λεπτή δέσμη φωτός την παριστάνουμε σχηματικά με μια μόνο ευθεία την οποία ονομάζουμε **ακτίνα φωτός**.
- **Το φως διαδίδεται ευθύγραμμα** σε ένα ομογενές υλικό το οποίο έχει σε όλη την έκτασή του την ίδια πυκνότητα και την ίδια θερμοκρασία.
- **Το φως διαδίδεται στο κενό με ταχύτητα** περίπου ίση με  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ .
- **Διαφανή** ονομάζονται τα υλικά μέσα από τα οποία διέρχεται το φως.
- **Ημιδιαφανή** ονομάζονται τα υλικά μέσα από τα οποία διέρχεται μόνο ένα ποσοστό του φωτός που προσπίπτει πάνω τους.
- Εφόσον τα αδιαφανή υλικά δεν επιτρέπουν στο φως να περάσει μέσα τους και καθώς το φως διαδίδεται ευθύγραμμα, έχουν ως αποτέλεσμα πίσω από ένα αδιαφανές αντικείμενο να δημιουργείται **σκιά**.
- Όταν η φωτεινή πηγή είναι μεγάλων διαστάσεων, τότε πίσω από ένα αδιαφανές σώμα που φωτίζεται από την πηγή εκτός από σκιά δημιουργείται και **παρασκιά**.
- **Ανάκλαση** ονομάζουμε το φαινόμενο της αλλαγής της πορείας διάδοσης του φωτός, όταν συναντήσει την επιφάνεια ενός σώματος, επιστρέφοντας στο ίδιο οπτικό μέσο. Η ανάκλαση μπορεί να είναι **κατοπτρική** ή **διάχυτη** αναλόγως της υφής της επιφάνειας στην οποία προσπίπτει το φως.
- Η γωνία ανάμεσα στην ανακλώμενη ακτίνα και στην κάθετη στην επιφάνεια ανάκλασης ισούται με τη γωνία ανάμεσα στην προσπίπτουσα ακτίνα και στην κάθετη στην επιφάνεια ανάκλασης (**γωνία ανάκλασης = γωνία πρόσπτωσης**) [ $1^{\text{ος}}$  νόμος ανάκλασης].
- Οι ακτίνες πρόσπτωσης, ανάκλασης και η κάθετη στην επιφάνεια ανάκλασης βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο, το οποίο είναι κάθετο στην επιφάνεια ανάκλασης [ $2^{\text{ος}}$  νόμος ανάκλασης].
- Το είδωλο ενός αντικειμένου σε επίπεδο κάτοπτρο βρίσκεται σε ίση απόσταση με την απόσταση του αντικειμένου από το κάτοπτρο και έχει το ίδιο μέγεθος με το αντικείμενο, αλλά σχηματίζεται κατοπτρικά (δεξι-αριστερό).
- Το είδωλο ενός αντικειμένου που σχηματίζεται από ένα κυρτό κάτοπτρο είναι πάντα όρθιο.
- Το είδωλο ενός αντικειμένου που σχηματίζεται από ένα κοίλο κάτοπτρο όταν βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση είναι αντεστραμμένο. Όταν το αντικείμενο βρεθεί σε απόσταση μικρότερη από την εστιακή του απόσταση, τότε το είδωλό του είναι όρθιο.
- **Διάθλαση** ονομάζουμε το φαινόμενο της αλλαγής της πορείας του φωτός. Όταν προσπέσει υπό γωνία στη λεία διαχωριστική επιφάνεια δύο οπτικών μέσων, ένα μέρος του φωτός ανακλάται ενώ το υπόλοιπο εισέρχεται στο δεύτερο οπτικό μέσο, αλλάζοντας την πορεία του.
- Όταν το φως διαδίδεται από οπτικά αραιότερο μέσο σε οπτικά πυκνότερο μέσο, η διαθλώμενη ακτίνα πλησιάζει στην κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια. Δηλαδή η γωνία διάθλασης είναι μικρότερη από τη γωνία πρόσπτωσης (ισχύει  $\delta < \pi$ ) και το αντίστροφο.
- Ο **δείκτης διάθλασης** οπτικού μέσου ορίζεται ως ο λόγος της ταχύτητας διάδοσης του φωτός στο κενό  $c$ , προς την ταχύτητα διάδοσης του φωτός στο οπτικό μέσο  $v$ .
- **Κρίσιμη ή οριακή γωνία**  $\theta_{\text{op}}$  ονομάζεται η γωνία πρόσπτωσης  $\pi$  για την οποία η γωνία διάθλασης  $\delta$  θα ισούται με  $90^\circ$ .
- **Ολική ανάκλαση** ονομάζεται το φαινόμενο στο οποίο μια δέσμη φωτός, για γωνία πρόσπτωσης μεγαλύτερη από την οριακή γωνία  $\theta_{\text{op}}$ , δεν εισέρχεται στο δεύτερο αραιότερο μέσο αλλά ανακλώμενο επιστρέφει στο αρχικό οπτικά πυκνότερο μέσο.

- Όταν μια δέσμη λευκού φωτός πέσει υπό γωνία σε τριγωνικό πρίσμα, θα αναλυθεί σε επιμέρους ακτινοβολίες οι οποίες θα είναι ορατές έχοντας διαφορετικά χρώματα μεταξύ τους.
- Τα χρώματα στο **φάσμα ανάλυσης του λευκού φωτός** από τη μικρότερη ενέργεια των φωτονίων προς τη μεγαλύτερη είναι: ερυθρό (κόκκινο), πορτοκαλί, κίτρινο, πράσινο, κυανό, μπλε, ιώδες (μωβ).
- **Διασκεδασμός** του φωτός ονομάζεται το φαινόμενο της εξάρτησης της ταχύτητας διάδοσης του φωτός και του δείκτη διάθλασης του υλικού, από τη συχνότητα (και το μήκος κύματος) του φωτός.
- Το είδωλο ενός μακρινού αντικειμένου που σχηματίζεται από έναν συγκλίνοντα φακό είναι αντεστραμμένο, μικρότερο και σε μεγαλύτερη απόσταση.
- Το είδωλο ενός κοντινού αντικειμένου που σχηματίζεται από έναν συγκλίνοντα φακό είναι όρθιο και μεγαλύτερο.
- Κάποιες από τις παθήσεις του ματιού οφείλονται σε ανατομικές ατέλειες του σχήματος του βολβού του ματιού ή σε λανθασμένη καμπυλότητα του κερατοειδούς χιτώνα. Για τη **διόρθωση της μυωπίας** χρησιμοποιούνται γυαλιά οράσεως (ή φακοί επαφής) που φέρουν κατάλληλους **αποκλίνοντες φακούς**. Για τη **διόρθωση της πρεσβυωπίας** χρησιμοποιούνται γυαλιά οράσεως που φέρουν κατάλληλους **συγκλίνοντες φακούς**.
- Για τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ισχύει η **θεμελιώδης εξίσωση της κυματικής** ( $c = \lambda \cdot f$ ) που συνδέει την ταχύτητα διάδοσής τους  $c$  με το μήκος κύματός τους  $\lambda$  και τη συχνότητα  $f$ .
- Οι μορφές της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από μικρές τιμές ενέργειας (και συχνότητας) των φωτονίων προς μεγαλύτερες είναι: τα ραδιοκύματα, τα μικροκύματα, οι υπέρυθρες ακτίνες, το ορατό φως, οι υπεριώδεις ακτίνες, οι ακτίνες X και οι ακτίνες γ. Οι ακτίνες με μεγαλύτερη συχνότητα από το ορατό φως λέγονται **ιονίζουσες ακτινοβολίες** και είναι επικίνδυνες για τη ζωή.
- Όλες οι μορφές της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας συγκροτούν το λεγόμενο **φάσμα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας**.
- Το φως των σωμάτων αναλύεται στα **φάσματα εκπομπής** και **φάσματα απορρόφησης**.
- Τα φάσματα είναι γραμμικά ή συνεχή.
- Τα **γραμμικά φάσματα εκπομπής και απορρόφησης των αερίων** χαρακτηρίζουν μοναδικά το κάθε αέριο.

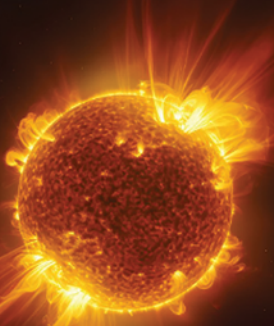


Επαναληπτικό στο φως.



Έλεγξε τις γνώσεις σου λύνοντας σταυρόλεξο.

## 4.1 Δομή του πυρήνα του ατόμου – Πυρηνική ενέργεια – Σύντηξη – Σχάση – Ραδιενέργεια



Εικόνα 4.1.1: Ο Ήλιος

**Μετά από αυτή την ενότητα θα είσαι σε θέση να:**

1. αναγνωρίζεις τη δομή και τις δυνάμεις στον πυρήνα του ατόμου.
2. αναφέρεις την ύπαρξη της ισοδυναμίας μάζας – ενέργειας.
3. αναφέρεις τι είναι ραδιενέργεια, να δίνεις παραδείγματα και να αναγνωρίζεις τους κινδύνους από αυτή.
4. αναφέρεις τη σχάση και τη σύντηξη και να τις διακρίνεις μεταξύ τους.
5. αναφέρεις βασικές εφαρμογές που σχετίζονται με πυρηνικά φαινόμενα.



Για τις δραστηριότητες της παραγράφου αυτής θα χρειαστούν:

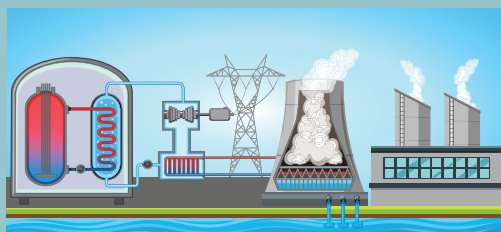
Ζυγός, μία μεγάλη πατάτα, πατάτες baby, απαριθμητής ραδιενεργών διασπάσεων Geiger-Müller.



Η ζωή πάνω στη Γη δεν θα υπήρχε αν στον Ήλιο δεν συνέβαιναν κάθε στιγμή αναρίθμητες θερμοπυρηνικές αντιδράσεις. Από την άλλη πλευρά, η ανθρωπότητα ήρθε αντιμέτωπη, για πρώτη φορά, με την καταστροφική χρήση της πυρηνικής ενέργειας στις 6 Αυγούστου 1945, όταν η πυρηνική βόμβα «Little Boy» («Αγοράκι») έπεσε στη Χιροσίμα σκοτώνοντας γύρω στους 130.000 ανθρώπους είτε άμεσα είτε από την επίδραση της ακτινοβολίας που συνεπάγεται μια πυρηνική έκρηξη. Σήμερα διαθέτουμε πυρηνικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, εργαλεία διάγνωσης και θεραπείας για ογκολογικούς ασθενείς, βασισμένα στην πυρηνική ενέργεια, αλλά και πυρηνικές βόμβες που μπορούν να εξαφανίσουν τη ζωή από τον πλανήτη.



Εικόνα 4.1.2: Έκρηξη πυρηνικής βόμβας.



Εικόνα 4.1.3: Πυρηνικό εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 4.1.4: Διαγνωστικός έλεγχος ασθενούς.

### Ας αναρωτηθούμε

1. Τι κοινό έχουν οι παραπάνω εικόνες;
2. Τι είναι η ραδιενέργεια; Πόσο σωστό είναι να την κρίνουμε ως καλή ή κακή;



## Οι πυρηνικές δυνάμεις

### Νοητική δραστηριότητα:



Γνωρίζεις ότι οι πυρήνες των ατόμων αποτελούνται από πρωτόνια και νετρόνια. Γιατί να μη διασπώνται αφού τα πρωτόνια είναι θετικά και απωθούνται και τα νετρόνια είναι ουδέτερα και δεν αλληλεπιδρούν ηλεκτρικά;

ΛΟΓΙΚΑ ΘΑ ΔΙΑΣΠΑΣΤΟΥΝ  
ΣΙΓΑ ΣΙΓΑ, ΟΛΟΙ ΟΙ  
ΠΥΡΗΝΕΣ ΣΤΗ ΦΥΣΗ

ΜΗΠΩΣ ΥΠΑΡΧΕΙ ΚΑΠΟΙΑ  
ΑΛΛΗ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΟΥ  
ΚΡΑΤΑ ΤΑ ΠΡΩΤΟΝΙΑ ΚΑΙ  
ΤΑ ΝΕΤΡΟΝΙΑ ΕΝΩΜΕΝΑ;



Αν στους πυρήνες δρούσαν μόνο δύο δυνάμεις, η ηλεκτροστατική άπωση και η βαρυτική έλξη, θα υπήρχε ο κόσμος μας σήμερα;

.....  
Τι πιστεύεις ότι κρατά τα πρωτόνια και τα νετρόνια ενωμένα σε πυρήνες; Πώς;  
.....



Θα πρέπει να υπάρχει μια άλλη αλληλεπίδραση, πολύ πιο ισχυρή από την ....., που δρα ανάμεσα στα ..... και τα ..... του πυρήνα. Η αλληλεπίδραση αυτή είναι που κάνει τους πυρήνες σταθερούς, παρά το γεγονός ότι τα ..... απωθούνται μεταξύ τους και τα ..... δε δέχονται καμιά απολύτως ηλεκτρική δύναμη.



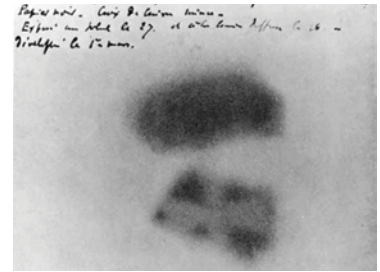
### Η ισχυρή αλληλεπίδραση

Τα πρωτόνια και τα νετρόνια (με μία λέξη νουκλεόνια) είναι εγκλωβισμένα στον πολύ μικρό χώρο του πυρήνα. Στον μικρόκοσμο, όσο πιο περιορισμένο είναι ένα σωματίδιο τόσο μεγαλύτερη κινητική ενέργεια έχει. Επειδή ο πυρήνας είναι πάρα πολύ μικρός, η κινητική ενέργεια των πρωτονίων και των νετρονίων είναι ένα εκατομμύριο φορές μεγαλύτερη από την κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων στο άτομο. Ταυτόχρονα, τα πρωτόνια στον πυρήνα είναι σε πολύ κοντινές αποστάσεις, οπότε δέχονται τεράστιες απωστικές ηλεκτρικές δυνάμεις. Έτσι τα πρωτόνια και τα νετρόνια θα εκτοξεύονταν μακριά το ένα από το άλλο, αν δεν υπήρχε μια πολύ πιο «ισχυρή» δύναμη, η **ισχυρή αλληλεπίδραση**. Η ισχυρή αλληλεπίδραση είναι **ελκτική** δύναμη ανάμεσα στα πρωτόνια και ανάμεσα στα πρωτόνια και τα νετρόνια. Είναι πολύ ισχυρή σε αποστάσεις  $10^{-15}$  μέτρα αλλά σχεδόν μηδέν σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Τώρα μπορείς να καταλάβεις ότι τα νετρόνια συνεισφέρουν σημαντικά στη συνοχή του πυρήνα γιατί σε αντίθεση με τα πρωτόνια δεν έχουν ηλεκτρικές απωστικές αλληλεπιδράσεις. Καθώς τα νουκλεόνια έλκονται μεταξύ τους, οι πυρήνες παίρνουν σφαιρικό σχήμα. Μια τέτοια διάταξη ελαχιστοποιεί τις αποστάσεις και μεγιστοποιεί τις ισχυρές αλληλεπιδράσεις.

**Νοητική δραστηριότητα:**



Το 1896 ο Antoine Henri Becquerel (Αντουάν Ανρί Μπεκερέλ) διαπίστωσε ότι το στοιχείο ουράνιο εξέπεμπε ακτινοβολία πολύ μεγαλύτερης ενέργειας απ’ όσες είχαν μετρηθεί μέχρι τότε. Αργότερα ανακαλύφθηκε ότι όλα τα στοιχεία με περισσότερα από 82 πρωτόνια στον πυρήνα τους συμπεριφέρονται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο. Τι μπορεί να συμβαίνει στους «μεγάλους» πυρήνες;



**Εικόνα 4.1.5:** Ο Becquerel τύλιξε, με μαύρο χαρτί, φωτογραφικό φιλμ πάνω σε άλας του ουρανίου και παρατήρησε πως η φωτογραφική πλάκα επηρεαζόταν ακόμα και αν το σκεύασμα παρέμενε στο σκοτάδι. Στη φωτογραφία βλέπουμε την αμαύρωση της φωτογραφικής πλάκας του Becquerel.



**Μελέτησε το σχήμα** της εικόνας 4.1.6 και προσπάθησε να δώσεις μια απάντηση

.....

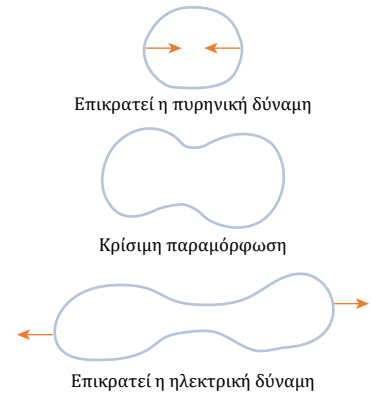
.....

.....

.....



Αν ένας «μεγάλος» ..... αρχίσει να παραμορφώνεται και η παραμόρφωσή του ξεπεράσει μια ..... τιμή, τότε οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις επικρατούν. Στην περίπτωση αυτή ο πυρήνας διασπάται και ..... ενέργεια.



**Εικόνα 4.1.6:** Πιθανή παραμόρφωση πυρήνα.



**Πυρηνική σχάση – Ραδιενέργεια**

Οι πυρηνικές δυνάμεις επικρατούν σε όλους τους πυρήνες. Στους «μεγάλους» πυρήνες όμως η κυριαρχία τους είναι οριακή. Αν ένας τέτοιος πυρήνας πάρει επιμήκες σχήμα, τα πρωτόνια και τα νετρόνια απομακρύνονται, και πέρα από μια κρίσιμη παραμόρφωση, ο πυρήνας σπάει σε δύο μικρότερους και σταθερότερους πυρήνες, απελευθερώνοντας ταυτόχρονα τεράστιες ποσότητες ενέργειας.

**Πυρηνική σχάση** είναι η διάσπαση ενός πυρήνα σε μικρότερους και σταθερότερους πυρήνες.

**Ραδιενέργεια** είναι η αυθόρμητη διάσπαση ορισμένων πυρήνων η οποία συνοδεύεται από εκπομπή υψηλής ενέργειας ακτινοβολία.

## Οι πυρηνικές δυνάμεις

### Πειραματική δραστηριότητα:



**Ποια επιφάνεια είναι μεγαλύτερη; Μιας μεγάλης πατάτας ή πολλών μικρών με την ίδια μάζα; Σχεδίασε μια δραστηριότητα για να το διαπιστώσεις.**

.....

.....

.....



**Ζύγισε μια μεγάλη πατάτα.** Η μάζα της είναι .....

**Ζύγισε μικρές πατάτες** ώστε όλες μαζί να έχουν μάζα περίπου ίση με της μεγάλης. Ο αριθμός των μικρών πατατών είναι: .....

**Ξεφλούδισε τη μεγάλη πατάτα** και ζύγισε τη μάζας της φλούδας. Είναι .....

**Διαίρεσε τη μάζα** της φλούδας με τη μάζα της πατάτας. Είναι .....

**Ξεφλούδισε τις μικρές πατάτες** και ζύγισε τη μάζα των φλουδών. Είναι .....

**Διαίρεσε τη μάζα** των φλουδών των μικρών πατατών με την μάζα τους. Είναι .....

Ποια είναι η σχέση της μάζας της φλούδας με την επιφάνεια της πατάτας;

.....



Αν και οι μικρές πατάτες έχουν ίδια μάζα με τη μεγάλη, οι φλούδες τους έχουν πολύ ..... μάζα από τη φλούδα της μεγάλης. Άρα οι μικρές πατάτες έχουν ..... εμβαδόν επιφάνειας σε σχέση με τον όγκο τους και τη μάζα τους.

### Ψηφιακή δραστηριότητα:



**Τι θα συμβεί αν ένας «μεγάλος» πυρήνας, για παράδειγμα αυτός του ουρανίου, με 92 πρωτόνια και 143 νετρόνια (U-235), βομβαρδιστεί από σωματίδια (νετρόνια) που θα τον βοηθήσουν να γίνει ασταθής και να διασπαστεί;**

<https://phet.colorado.edu/en/simulations/nuclear-fission?locale=el>



**Χρησιμοποίησε την προσομοίωση**, ακολούθησε τις οδηγίες και απάντησε στις παρακάτω ερωτήσεις: Στην καρτέλα «Σχάση ενός πυρήνα», βλέπεις ένα πυροβόλο νετρονίων και έναν πυρήνα ουρανίου. Πάτησε το κόκκινο κουμπί του πυροβόλου για να εκτοξεύσεις ένα νετρόνιο. Τι συμβαίνει όταν το νετρόνιο πέσει πάνω στον πυρήνα ουρανίου;

.....

.....

**Άνοιξε την καρτέλα «Αλυσιδωτή αντίδραση».** Σύρε το χειριστήριο κάτω από το U-235, που βρίσκεται στα δεξιά της οθόνης, έτσι ώστε 25 πυρήνες ουρανίου να εμφανιστούν μπροστά από το πυροβόλο. Πάτησε το κουμπί του πυροβόλου και σημείωσε τις παρατηρήσεις σου.

.....  
 .....  
**Σύρε το χειριστήριο κάτω από το U-235**, που βρίσκεται στα δεξιά της οθόνης, έτσι ώστε 100 πυρήνες ουρανίου να εμφανιστούν μπροστά από το πυροβόλο. Πάτησε το κουμπί του πυροβόλου και σημείωσε τις παρατηρήσεις σου.

.....  
 .....

**Σύρε το χειριστήριο τόσο κάτω από το U-235, όσο και κάτω από το U-238**, ώστε 100 πυρήνες από το καθένα να εμφανιστούν μπροστά από το πυροβόλο. Πάτησε το κουμπί του πυροβόλου και σημείωσε τις παρατηρήσεις σου. Αν χρειαστεί, εκτόξευσε 2-3 νετρόνια ακόμα.

.....  
 .....



Όταν ένα νετρόνιο χτυπά πυρήνα ουρανίου, αυτός διασπάται σε ..... μικρότερους πυρήνες K<sub>r</sub> και Ba και ..... νετρόνια.

Όταν ένα νετρόνιο πέσει σε ένα μικρό κομμάτι ουρανίου, το οποίο αντιστοιχεί σε λίγους πυρήνες, τα νετρόνια που παράγονται δραπετεύουν γρήγορα και η αντίδραση .....

Όταν ένα νετρόνιο πέσει σε ένα μεγάλο κομμάτι ουρανίου, το οποίο αντιστοιχεί σε πολλούς πυρήνες, τα νετρόνια που παράγονται δεν δραπετεύουν, η αντίδραση ..... και μπορεί να γίνει.....

Όταν νετρόνια πέφτουν σε μείγμα U-235 και U-238, το U-238 ..... τα νετρόνια χωρίς να διασπασθεί και η αντίδραση .....

Σε συνδυασμό με την προηγούμενη δραστηριότητα συμπεραίνω ότι πολλά μικρά κομμάτια ουρανίου U-235, που έχουν την ίδια μάζα με ένα μεγάλο κομμάτι, έχουν πολύ μεγαλύτερη επιφάνεια, τα νετρόνια δραπετεύουν γρήγορα και η αντίδραση ..... Αντίθετα στο μεγάλο κομμάτι η αντίδραση ..... και μπορεί να γίνει .....



## Εμβαθύνοντας στην πυρηνική σχάση

Στους πυρήνες με περισσότερα από 82 πρωτόνια, η παραμόρφωση πέρα από την κρίσιμη, πραγματοποιείται αυθόρμητα. Έχουμε λοιπόν αντίστοιχα μια **αυθόρμητη σχάση**.

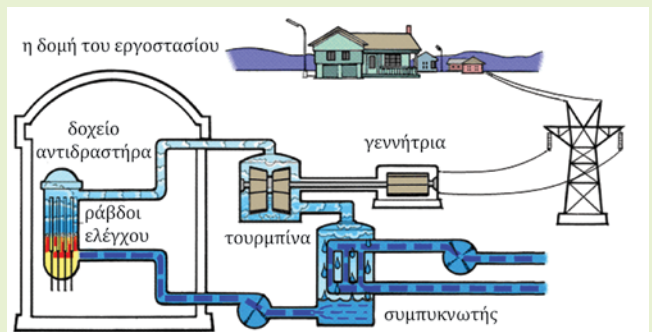
Μπορούμε όμως να «βοηθήσουμε» στην επιμήκυνση του πυρήνα, βομβαρδίζοντάς τον με νετρόνια. Τα νετρόνια είναι ιδανικά «βλήματα» για τους πυρήνες, καθώς δεν έχουν φορτίο και δεν απωθούνται από αυτούς. Ας πάρουμε την περίπτωση του ουρανίου. Για κάθε ένα νετρόνιο που πέφτει πάνω στον πυρήνα, απελευθερώνονται τρία νετρόνια. Τα τρία αυτά νετρόνια μπορούν να χτυπήσουν τρεις νέους πυρήνες ουρανίου και από τη σχάση τους να προκύψουν 9 νετρόνια κ.ο.κ. Αυτές οι διαδοχικές πυρηνικές αντιδράσεις ονομάζονται **αλυσιδωτή αντίδραση** και, όταν συμβαίνει, απελευθερώνει τρομακτικά ποσά ενέργειας. Αυτό ακριβώς γίνεται στην περίπτωση μιας ατομικής βόμβας.

Άτομα με τον ίδιο αριθμό πρωτονίων στον πυρήνα τους, αποτελούν άτομα του ίδιου στοιχείου. Είναι όμως δυνατόν να περιέχουν διαφορετικό αριθμό νετρονίων, οπότε ονομάζονται **ισότοπα** του στοιχείου αυτού.

Δύο από τα κυριότερα ισότοπα του ουρανίου είναι το U-238 (92 πρωτόνια και 146 νετρόνια) και το U-235 (92 πρωτόνια και 143 νετρόνια). Ενώ το U-235 παθαίνει εύκολα σχάση, το U-238 είναι εξαιρετικά πιο σταθερό. Στη φύση δεν παρατηρούμε αλυσιδωτές αντιδράσεις γιατί στα κοιτάσματα ουρανίου που υπάρχουν σήμερα, το U-235 είναι μόλις το 0,7%. Όμως υπάρχουν ενδείξεις ότι κάτι τέτοιο συνέβη πριν από 2.000.000.000 χρόνια, που οι αναλογίες των ισοτόπων ήταν πολύ διαφορετικές (πηγή: Scientific American, Ιούλιος 1976).

Η πυρηνική βόμβα που έπεσε το 1945 στη Χιροσίμα είχε ως σχάσιμο υλικό ένα κομμάτι U-235 σε μέγεθος, περίπου, μπάλας του τένις. Αν όμως το κομμάτι αυτό ήταν μικρότερο, η αλυσιδωτή αντίδραση δε θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί. Όπως ακριβώς και με τις πατάτες της πειραματικής δραστηριότητας, το μικρό κομμάτι έχει μεγαλύτερη επιφάνεια σε σχέση με τη μάζα και τον όγκο του και τα νετρόνια που παράγονται είναι πιο εύκολο να διαφύγουν στο περιβάλλον. Η μάζα σχάσιμου υλικού που απαιτείται ώστε μόλις να συντηρείται μια αλυσιδωτή αντίδραση, ονομάζεται **κρίσιμη μάζα**.

Σήμερα πολλές χώρες αξιοποιούν τη σχάση στα 442 **πυρηνικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας**, που υπάρχουν παγκοσμίως. Οι αντιδραστήρες σχάσης των εργοστασίων αυτών χρησιμοποιούν ως καύσιμο U-238 εμπλουτισμένο με U-235 σε ποσοστό 3%. Το μικρό αυτό ποσοστό του U-235 καθιστά αδύνατη μια έκρηξη παρόμοια με αυτή της ατομικής βόμβας. Ο αριθμός των νετρονίων που προκαλούν τις σχάσεις ελέγχεται με ράβδους ελέγχου (control rods). Οι ράβδοι είναι κατασκευασμένες από υλικό που απορροφά τα νετρόνια και η εισαγωγή ή εξαγωγή τους στο καύσιμο καθορίζει τον ρυθμό της αντίδρασης (στην τρίτη καρτέλα της προηγούμενης προσομοίωσης μπορείς να δεις τη χρήση των ράβδων ελέγχου). Παράλληλα νερό υψηλής πίεσης, ώστε να θερμαίνεται χωρίς να βράζει, περιβάλλει τον αντιδραστήρα και μεταφέρει θερμότητα σε ένα δεύτερο σύστημα νερού χαμηλής πίεσης. Ο ατμός που παράγεται από τον βρασμό του νερού στο δεύτερο σύστημα κινεί έναν ατμοστρόβιλο (τουρμπίνα), ο οποίος με τη σειρά του περιστρέφει τον άξονα μιας ηλεκτρογεννήτριας, με τελικό αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 4.1.7: Πυρηνικό εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας - η αρχή λειτουργίας.

## Οι πυρηνικές δυνάμεις

### Νοητική δραστηριότητα:



Πού βρέθηκε όλη αυτή η ενέργεια, μέσα σε ένα υλικό μεγέθους μπάλας του τένις, που εκλύθηκε κατά την πτώση της βόμβας στη Χιροσίμα;



Σκέψου ένα κουρδιστό αυτοκινητάκι παιχνίδι. Ένα τέτοιο παιχνίδι έχει μέσα του ένα έλασμα. Όταν το κουρδίζουμε, το έλασμα συσπειρώνεται και αποθηκεύει μέσα του ελαστική δυναμική ενέργεια. Όταν αφήσουμε το αμαξάκι να κινηθεί, το έλασμα ξεκουρδίζεται, παίρνει το φυσικό του σχήμα και η δυναμική του ενέργεια μετασχηματίζεται σε κινητική και μετά σε θερμική. Αν είχες έναν ασύλληπτα ευαίσθητο ζυγό και μετρούσες τη μάζα του παιχνιδιού κουρδισμένο και ξεκουρδιστό θα έβρισκες πως μειώνεται όταν ξεκουρδίζεται!



Δηλαδή η ενέργεια που αποθηκεύεται στο ελατήριο μετράται ως ..... της μάζας του!



## Η Ισοδυναμία Μάζας – Ενέργειας

Η διάσημη σχέση του Einstein που εκφράζει αυτήν την ισοδυναμία μάζας και ενέργειας είναι η:

$$E=mc^2 \quad (4.3.1)$$

Σύμφωνα με την ισοδυναμία αυτή μπορούμε να αναφερόμαστε με ένα ενιαίο μέγεθος για τη μάζα και την ενέργεια ενός συστήματος. Ας πάρουμε τον πυρήνα του ηλίου. Αποτελείται από δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια. Η μάζα των πρωτονίων και των νετρονίων, αν μετρηθεί πριν αυτά ενωθούν και σχηματίσουν τον πυρήνα, είναι μεγαλύτερη από τη μάζα του ίδιου του πυρήνα. Το έλλειμμα μάζας αποτελεί την αποθηκευμένη πυρηνική ενέργεια που κρατά τον πυρήνα ενωμένο.

Αν διαιρέσουμε την ενέργεια αυτή με τον αριθμό των πρωτονίων και των νετρονίων του πυρήνα, βρίσκουμε την ενέργεια ανά νουκλεόνιο. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η ενέργεια, τόσο σταθερότερος είναι ο πυρήνας. Όπως βλέπουμε στο διάγραμμα της εικόνας 4.1.9, ο σταθερότερος πυρήνας είναι αυτός του σιδήρου. Πυρήνες μικρότεροι από αυτόν μπορούν, κάτω από κατάλληλες συνθήκες, να ενωθούν, αποκτώντας σταθερότερη δομή, και πυρήνες μεγαλύτεροι να διασπαστούν. Μπορούμε όμως τώρα να εξηγήσουμε και τα τεράστια ποσά ενέργειας που εκλύονται όταν υποστεί σχάση ένας πυρήνας με μεγάλο αριθμό πρωτονίων και νετρονίων. Στην εικόνα 4.1.10, στον έναν δίσκο του εικονικού ζυγού βρίσκεται ένας πυρήνας ουρανίου. Στον άλλον δίσκο τα προϊόντα της σχάσης. Η μάζα των προϊόντων είναι μικρότερη από του αρχικού πυρήνα. Το έλλειμμα μάζας ισοδυναμεί με την ενέργεια που εκλύεται κατά τη σχάση.



**Εικόνα 4.1.8:** Η μάζα των πρωτονίων και των νετρονίων είναι μεγαλύτερη από τη μάζα του ίδιου του πυρήνα ηλίου.



**Εικόνα 4.1.9:** Διάγραμμα ενέργειας ανά νουκλεόνιο σε συνάρτηση με το μαζικό αριθμό.

Πίνακας 4.1.1: Ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο για ορισμένα ισότοπα	
Ισότοπο	Ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο ( $J \times 10^{-13}$ )
Υδρογόνο	0 (έχει ένα μόνο πρωτόνιο)
Δευτέριο	1,76
Ήλιο-4	11,36
Άνθρακας-12	12,32
Σίδηρος-58	14,08
Χαλκός-63	14
Ουράνιο-235	7,59
Ουράνιο-238	12,112




**Εικόνα 4.1.10:** Η μάζα του πυρήνα ουρανίου είναι μεγαλύτερη από τη μάζα των προϊόντων της σχάσης.


**Σημείωση:** Το δευτέριο είναι ισότοπο του υδρογόνου με ένα πρωτόνιο και ένα νετρόνιο στον πυρήνα του.

## Πυρηνική Σύντηξη

### Νοητική δραστηριότητα:


-  Στον έναν δίσκο ενός εικονικού, υπερευαίσθητου ζυγού, βρίσκονται δύο πυρήνες υδρογόνου (δευτερίου) που αποτελούνται από ένα πρωτόνιο και ένα νετρόνιο ο καθένας. Στον δεύτερο δίσκο βρίσκεται ένας πυρήνας ηλίου, με δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια. Ποια εικόνα είναι η σωστή;




-  Η σωστή εικόνα, σύμφωνα με το διάγραμμα της εικόνας 4.1.9 είναι η ..... . Οπότε αν ενωθούν δύο πυρήνες δευτερίου για να σχηματίσουν έναν πυρήνα ηλίου ..... ενέργεια.

## Μετρώντας τη ραδιενέργεια γύρω μας

### Πειραματική δραστηριότητα:

-  Υπάρχει ραδιενέργεια στο σπίτι σου, στην τάξη ή στο εργαστήριο του σχολείου;



-  **Εξέτασε** αν ο απαριθμητής ραδιενεργών διασπάσεων Geiger-Müller καταγράφει διασπάσεις στο εργαστήριο, χωρίς να υπάρχουν πηγές ραδιενέργειας.

**Τοποθέτησε τον σωλήνα** απαρίθμησης οριζόντια και αφάιρεσε προσεκτικά το κάλυμμα.

**Εκίνα την απαρίθμηση** διασπάσεων με το κουμπί «start-stop».

Μέτρα τον αριθμό των ήχων που ακούς, για ένα λεπτό, και κατάρταψέ τον στον πίνακα 4.1.2. Επανάλαβε άλλες τρεις φορές και βρες τον μέσο όρο.

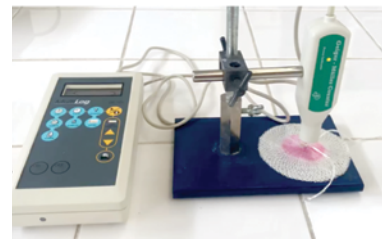


**Εικόνα 4.1.13:** Ο απαριθμητής Geiger-Müller και ο σωλήνας οριζόντια.

**Επανάλαβε** το πείραμα με τον σωλήνα απαρίθμησης κατακόρυφα και κάτω από αυτόν τοποθέτησε ένα δίχτυ λάμπας γκαζιού, σε απόσταση 2 εκατοστών.

**Συμπλήρωσε** τον πίνακα 4.1.3.

Σε περίπτωση που το σχολικό εργαστήριο δε διαθέτει απαριθμητή ραδιενεργών διασπάσεων Geiger-Müller, χρησιμοποίησε τον σύνδεσμο για να παρακολουθήσεις ένα σχετικό βίντεο.



**Εικόνα 4.1.14:** Ο απαριθμητής Geiger Müller πάνω από δίχτυ για λάμπα γκαζιού.



..... διασπάσεις πραγματοποιούνται συνεχώς γύρω μας, όπως φανερώνει ο ..... Υπάρχουν όμως καθημερινά ..... που εκπέμπουν περισσότερη ακτινοβολία γι' αυτό είναι καλό να τα γνωρίζουμε και να προσέχουμε.

Πίνακας 4.1.2	
A/A	αριθμός ήχων/min
1	
2	
3	
4	
M.O.	

Πίνακας 4.1.3	
A/A	αριθμός ήχων/min
1	
2	
3	
4	
M.O.	



**Βίντεο 4.1.1**  
Μετρώντας τη ραδιενέργεια



## Πυρηνική σύντηξη

Εξετάζοντας προσεκτικά το διάγραμμα της εικόνας 4.1.9, παρατηρούμε ότι όταν ενώονται μεταξύ τους οι ελαφρείς πυρήνες, που βρίσκονται αριστερά από τον σίδηρο, εκλύεται ενέργεια, γιατί η μάζα του πυρήνα που δημιουργείται είναι μικρότερη από τη μάζα των δύο αρχικών πυρήνων. Η διεργασία αυτή ονομάζεται πυρηνική σύντηξη και είναι ασφαλώς το αντίθετο της σχάσης. Ενώ όμως η σχάση μπορεί να συμβεί αυθόρμητα, κάτι τέτοιο δε συμβαίνει με τη σύντηξη.

## Η πυρηνική σύντηξη στον Ήλιο

Για να πραγματοποιηθεί μια αντίδραση σύντηξης, θα πρέπει οι πυρήνες να συγκρουστούν με πολύ μεγάλες ταχύτητες, ώστε να υπερνικηθεί η μεταξύ τους ηλεκτρική άπωση. Οι ταχύτητες αυτές αντιστοιχούν στις υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν στο εσωτερικό των αστέρων και για τον λόγο αυτό μιλάμε για **θερμοπυρηνική σύντηξη**. Με τη διαδικασία αυτή, πυρήνες υδρογόνου συντήκονται και δημιουργούνται πυρήνες ηλίου, ενώ ταυτόχρονα παράγεται ενέργεια στο εσωτερικό του Ήλιου μας και σε όλους τους αστέρες, όπου κάθε δευτερόλεπτο εκατομμύρια τόνοι ύλης μετατρέπονται σε ενέργεια.



Αν η ακτινοβολία δεν έχει μεγάλη ένταση, τα κύτταρά μας μπορούν να διορθώσουν τις περισσότερες βλάβες των μορίων τους. Άλλες φορές, που η ένταση της ακτινοβολίας είναι σχετικά ισχυρή, υπάρχουν κύτταρα που πεθαίνουν και σύντομα αντικαθίστανται από νέα, με εξαίρεση τα νευρικά κύτταρα που δεν αντικαθίστανται.

Μερικές φορές, η ακτινοβολία αλλοιώνει το γενετικό υλικό (DNA) κυττάρων. Αν το κύτταρο επιζήσει, θα κληροδοτήσει στα θυγατρικά του την αλλαγή αυτή και θα έχουμε μία μετάλλαξη. Άλλα κύτταρα του οργανισμού με τα ονόματα «μακροφάγα» και «φυσικοί φονιάδες» αναλαμβάνουν να τα καταστρέψουν. Αν δεν το καταφέρουν είναι δυνατόν να οδηγήσουν στην ανάπτυξη καρκινικών όγκων. Αν πάλι η μετάλλαξη συμβεί στα αναπαραγωγικά κύτταρα του οργανισμού, είναι πιθανό να μεταβιβαστεί στους απογόνους. Σε εξαιρετικά σπάνιες περιπτώσεις, μια τέτοια μετάλλαξη αποτελεί βελτίωση και επικρατεί.



Εικόνα 4.1.19: Δοσίμετρο.

Η μέτρηση των επιπτώσεων της ακτινοβολίας στον άνθρωπο μετρείται σε rem (ρεμ). Η ετήσια δόση κατά μέσο όρο σε έναν άνθρωπο είναι 0,2 rem. Είναι όμως μεγαλύτερη σε υψηλότερα υψόμετρα απ' ό,τι σε χαμηλότερα και μέγιστη κοντά στους πόλους. Σε ένα υπερατλαντικό ταξίδι με αεροπλάνο, ένας άνθρωπος δέχεται 20 φορές περισσότερη ακτινοβολία απ' ό,τι στο έδαφος, στον ίδιο χρόνο. Όσο για τους αστροναύτες, η ακτινοβολία είναι 200 φορές περισσότερη, απ' ό,τι στο έδαφος της Γης, οπότε πρέπει να φορούν κατάλληλες στολές ή να προσφέρει προστασία το διαστημόπλοιο.

Η θανατηφόρα δόση είναι 100 rem, που σημαίνει ότι ένας άνθρωπος που θα δεχθεί μια τέτοια δόση, σε μικρό χρονικό διάστημα, έχει πιθανότητες 50% να επιβιώσει.

Οι εργαζόμενοι σε περιβάλλοντα με ραδιενεργά υλικά πρέπει να ελέγχουν τις δόσεις ακτινοβολίας που λαμβάνουν, καθώς οι επιπτώσεις είναι αθροιστικές για τον οργανισμό. Έτσι φορούν πάνω τους συσκευές που μετρούν την ακτινοβολία που δέχονται και ονομάζονται δοσίμετρα. Επίσης, οι ραδιενεργές πηγές στα εργαστήρια, όταν δεν χρησιμοποιούνται, καλύπτονται με φύλλα μολύβδου, καθώς ο μολύβδος δε διαπερνιέται εύκολα από τη ραδιενέργεια.



Εικόνα 4.1.20: Ραδιενεργή πηγή θαλλίου-204. Όταν δεν χρησιμοποιείται καλύπτεται με φύλλα μολύβδου.

#### 4. Πυρηνικά απόβλητα – Πυρηνικά ατυχήματα

Τα πυρηνικά απόβλητα παράγονται από πυρηνικά προγράμματα κρατών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την κατασκευή πυρηνικών όπλων. Τα υλικά αυτά είναι ιδιαίτερα ραδιενεργά και με μεγάλους χρόνους ημιζωής. Η απόρριψή τους γίνεται συνήθως σε προσωρινά μέρη φύλαξης, ενώ μόνιμες λύσεις θεωρούνται η ταφή τους σε έρημους και υπόγειους χώρους, σε ακατοίκητες ή αραιά κατοικημένες περιοχές.

Ωστόσο, η ραδιενέργεια που παράγουν καταστρέφει πολλές μορφές ζωής, ενώ μπορεί να ρυπάνει υπόγεια νερά τα οποία δεν έχουν εντοπιστεί, με καταστροφικές συνέπειες για το τοπικό οικοσύστημα και τον ντόπιο πληθυσμό.

Ένας ακόμα κίνδυνος από τη ραδιενέργεια είναι τα πυρηνικά ατυχήματα - δυστυχήματα. Το μεγαλύτερο από αυτά είναι αυτό του Τσερνόμπιλ. Στις 26 Απριλίου 1986 εξερράγει ο αντιδραστήρας 4 του πυρηνικού σταθμού παραγωγής ενέργειας του Τσερνόμπιλ της Σοβιετικής Ένωσης, ο οποίος σήμερα βρίσκεται σε εδάφη της Ουκρανίας. Από τις δύο εκρήξεις που σημειώθηκαν καταστράφηκε το κτίριο του αντιδραστήρα, ενώ διέφυγε στην ατμόσφαιρα σημαντική ποσότητα ραδιενεργών υλικών που διασκορπίστηκαν σε μεγάλο τμήμα της Ευρώπης. Μεγάλη περιοχή γύρω από το εργοστάσιο είναι μέχρι σήμερα μη κατοικήσιμη.



Εικόνα 4.1.22: Τσερνόμπιλ - πόλη φάντασμα.

Πιο πρόσφατο πυρηνικό ατύχημα είναι αυτό στον πυρηνικό σταθμό παραγωγής ενέργειας της Φουκουσίμα στην Ιαπωνία. Στις 11 Μαρτίου 2011, ισχυρός σεισμός 9,1 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ έπληξε την περιοχή και ακολούθησε καταστροφικό τσουνάμι. Σε τρεις από τους έξι αντιδραστήρες του εργοστασίου καταστράφηκε το σύστημα ψύξης



Εικόνα 4.1.21: Προσωρινή αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων.

και ακολούθησαν εκρήξεις. Ραδιενεργό νερό και ατμός διέφυγαν στο περιβάλλον ενώ αναγκάστηκαν να ψύξουν τους πυρήνες με νερό του ωκεανού για την αποφυγή χειρότερης καταστροφής.



Εικόνα 4.1.23: Άποψη του εργοστασίου της Φουκουσίμα μετά την καταστροφή.

## 5. Αντιδραστήρας σύντηξης

Η ενέργεια που μπορούμε να πάρουμε με σύντηξη από το δευτέριο, το οποίο υπάρχει σε αφθονία στους ωκεανούς της Γης, είναι ασύγκριτα περισσότερη από όση μπορούν να δώσουν τα ορυκτά καύσιμα του πλανήτη και τα παγκόσμια αποθέματα ουρανίου.

Το πρόβλημα είναι ότι οι αντιδραστήρες σύντηξης απαιτούν πολύ υψηλές θερμοκρασίες, 350 εκατομμυρίων βαθμών, και στις θερμοκρασίες αυτές όλα τα υλικά τήκονται και εξαερώνονται. Έτσι, δεν είναι δυνατό η αντίδραση να πραγματοποιηθεί μέσα σε ένα υλικό δοχείο. Να σημειώσουμε ότι σε θερμοκρασίες έστω και λίγο, χαμηλότερες από 350 εκατομμύρια βαθμούς Κελσίου, η αντίδραση δεν είναι αυτοσυντηρούμενη και η ενέργεια που απαιτείται για τη θέρμανση του πλάσματος είναι περισσότερη από την ενέργεια που αποδίδει η ίδια η αντίδραση.

Μια μορφή μη υλικού δοχείου είναι το μαγνητικό πεδίο. Ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο μπορεί να περιορίσει τα υλικά της αντίδρασης σύντηξης, που βρίσκονται σε κατάσταση πλάσματος στις θερμοκρασίες αυτές, στον επιθυμητό χώρο. Όμως κάτι τέτοιο έχει μέχρι σήμερα επιτευχθεί για λιγότερο από ένα δευτερόλεπτο.



Εικόνα 4.1.24: Ερευνητικός αντιδραστήρας σύντηξης στην πολυτεχνική σχολή της Λωζάνης στην Ελβετία.

Έχουν παράλληλα αναπτυχθεί και άλλες τεχνικές σύντηξης με τη χρήση laser και δεσμών ηλεκτρονίων ή ιόντων, αλλά χωρίς ιδιαίτερη, μέχρι στιγμής, επιτυχία. Αν επιτευχθεί μια συντηρούμενη πυρηνική σύντηξη, ανεξάρτητα από τη μέθοδο που θα χρησιμοποιηθεί, θα είναι ίσως η ιδανική λύση για το ζήτημα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ένας αντιδραστήρας σύντηξης δεν κινδυνεύει από πυρηνικό ατύχημα, καθώς δεν απαιτείται κρίσιμη μάζα. Τα υποπροϊόντα που παράγονται δεν είναι ραδιενεργά και μόνο στον θάλαμο σύντηξης υπάρχει ραδιενέργεια εξαιτίας των νετρονίων υψηλής ενέργειας.

Καύσιμο είναι το υδρογόνο, το αφθονότερο στοιχείο στη φύση, και προϊόν το ήλιο, οπότε θα φουσκώναμε και πολλά μπαλόνια στα παιδικά πάρτι!

## 6. Maria Salomea Skłodowska - Curie 1867-1934 (Μαρία Σαλώμη Σκλοντόφσκα-Κιουρί)

Πολωνή φυσικός και χημικός. Σε συνεργασία με τον σύζυγό της, Pièrre Curie (Πιερ Κιουρί), ανακάλυψε το ράδιο και μελέτησε τα φαινόμενα της ραδιενέργειας. Ανακάλυψε επίσης το πολώνιο και υπήρξε η πρώτη γυναίκα που έγινε καθηγήτρια στο Πανεπιστήμιο της Σορβόνης, η πρώτη γυναίκα που τιμήθηκε με το Βραβείο Νόμπελ και η μόνη γυναίκα που τιμήθηκε δυο φορές με το Βραβείο Νόμπελ, στη Φυσική το 1903 και τη Χημεία το 1911.

Υπήρξε η πιο φημισμένη γυναίκα επιστήμων της εποχής της, γνωστή επίσης ως Μαντάμ Κιουρί.



Εικόνα 4.1.25: Marie Curie.

### 1. Ραδιενεργά αλεξικέραυνα

Από το 1975 και κατόπιν αδείας από την Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας επιτρεπόταν η εγκατάσταση ραδιενεργών αλεξικέραυνων. Η ραδιενεργός κεφαλή έφερε στοιχεία με ραδιενεργό Αμερίκιο-241 ή Ράδιο-226. Ο έντονος ιονισμός του αέρα γύρω από την κεφαλή λόγω της ακτινοβολίας, καθιστά τον αέρα περισσότερο αγωγίμο και ο κεραυνός βρίσκει ευκολότερη τη διαδρομή προς το αλεξικέραυνο που είναι συνδεδεμένο στο έδαφος, καθιστώντας το εξαιρετικά αποδοτικό.

Από το 1986, με εγκύκλιό της, η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας απαγόρευσε την εγκατάσταση ραδιενεργών αλεξικέραυνων και όρισε ότι οι ραδιενεργές κεφαλές πρέπει να απομακρυνθούν.

Κατά την απεγκατάσταση οι ραδιενεργές κεφαλές σφραγίζονται σε ειδικά μολύβδινα κιβώτια με χαλύβδινη επένδυση και λαμβάνονται δείγματα από τον χώρο.

### 2. Έλεγχοι σφαλμάτων σε μεταλλικές κατασκευές

Όταν μια πηγή ακτίνων  $\gamma$  τοποθετηθεί από τη μια πλευρά ενός μετάλλου και ένα φωτογραφικό φιλμ από την άλλη πλευρά, τα καταπονημένα σημεία ή φυσαλίδες αέρα, απεικονίζονται στο φιλμ όπως σε μια ακτινογραφία.

Με τον τρόπο αυτό ανιχνεύονται σφάλματα σε μεταλλικές κατασκευές, όπως αυτοκίνητα, αεροπλάνα και πύραυλοι, ακόμα και σε μη προσβάσιμες περιοχές τους, όπως το εσωτερικό σωλήνων.

Η μέθοδος έχει μικρότερο κόστος και λιγότερο ογκώδη εξοπλισμό από την αντίστοιχη με ακτίνες X.

### 3. Ακτινοβόληση τροφίμων (αποστείρωση, αποτροπή εκβλάστησης κονδύλων)

Η ακτινοβολία  $\gamma$  είναι η μόνη περιοχή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που προέρχεται από διάσπαση πυρήνων. Πρόκειται λοιπόν για ραδιενέργεια και είναι σε θέση να καταστρέψει το DNA και RNA μικροοργανισμών που βρίσκονται στα τρόφιμα, κάνοντάς τα ασφαλέστερα για κατανάλωση. Σε μικρές δόσεις αποτρέπει την εκβλάστηση σε πατάτες, σκόρδα και κρεμμύδια, αυξάνοντας τη διάρκεια ζωής τους.

Αν και η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας του Ο.Η.Ε. έχει εγκρίνει την ακτινοβόληση τροφίμων για αποστείρωση, η μέθοδος δεν είναι διαδεδομένη λόγω του φόβου των ανθρώπων για την πυρηνική ενέργεια. Χρησιμοποιείται στα τρόφιμα των αστροναυτών και στα τρόφιμα στις εντατικές των νοσοκομείων, όπου είναι απαραίτητο να λαμβάνονται πολύ αυστηρές προφυλάξεις.

### 4. Διάγνωση και θεραπεία ογκολογικών ασθενών

Η Πυρηνική Ιατρική χρησιμοποιεί ραδιενεργές ουσίες, με τη μορφή φαρμάκων, που χορηγούνται στον εξεταζόμενο με κατάποση ή με ένεση. Το φάρμακο διαχέεται στο σώμα και κατάλληλα τοποθετημένος ανιχνευτής ακτίνων  $\gamma$  συλλέγει την εκπεμπόμενη ακτινοβολία από το σώμα του εξεταζόμενου και δημιουργεί εικόνες σε έναν υπολογιστή. Με αυτόν τον τρόπο ανιχνεύονται όγκοι που έχουν υψηλή μεταβολική δραστηριότητα (καρκινικοί όγκοι).

Όμως οι ακτίνες  $\gamma$  χρησιμοποιούνται και στη θεραπεία καρκίνων γιατί μπορούν να νεκρώνουν ζωντανά κύτταρα. Έτσι, όπου αυτό είναι εφικτό, αντικαθιστούν τις δύσκολες χειρουργικές μεθόδους. Η μέθοδος αυτή λέγεται ραδιοθεραπεία και είναι αποτελεσματική επειδή τα καρκινικά κύτταρα δεν μπορούν να αυτοεπισκευαστούν όταν πάθουν κάποιες ζημιές από τις ακτίνες  $\gamma$ , πράγμα που μπορούν να κάνουν τα υγιή κύτταρα. Είναι σημαντικό να πάρει ο ασθενής τη σωστή δόση. Μεγάλη δόση ακτινοβολίας θα καταστρέψει πάρα πολλά υγιή κύτταρα, ενώ πολύ μικρή δεν θα καταφέρει να σταματήσει την εξάπλωση των καρκινικών κυττάρων.



**Ερωτήσεις**

1. Ποια σωματίδια ονομάζονται νουκλεόνια;
2. Τι είναι τα ισότοπα;
3. Γιατί τα πρωτόνια του πυρήνα ενός ατόμου δεν εκτοξεύονται μακριά το ένα από το άλλο εξαιτίας των απωστικών ηλεκτρικών δυνάμεων μεταξύ τους;
4. Έλεγξε τις γνώσεις σου για την πυρηνική σχάση συμπληρώνοντας τα κενά στον υπερσύνδεσμο.



5. Παίξε με το κρυπτόλεξο στον υπερσύνδεσμο.



6. Έλεγξε τις γνώσεις σου για την πυρηνική σύντηξη συμπληρώνοντας τα κενά στον υπερσύνδεσμο.



7. Μπορείς να κάνεις τη διάκριση ανάμεσα στη σχάση και τη σύντηξη; Συμπλήρωσε τα κενά στον υπερσύνδεσμο για να το διαπιστώσεις.



8. Σε μια αρχαιολογική ανασκαφή, γιατί στα νεότερα οστά υπάρχει μεγαλύτερη ποσότητα άνθρακα-14, απ' ό,τι στα παλιότερα, ανά μονάδα μάζας;

9. Γράψε το γράμμα (Σ) στο τέλος κάθε πρότασης που είναι σωστή και το γράμμα (Λ) στο τέλος κάθε πρότασης που είναι λανθασμένη.

- i. Σε ένα μεγάλο κομμάτι ουρανίου-235 είναι πιθανότερο να συμβεί αλυσιδωτή αντίδραση απ' ό,τι σε ένα μικρότερο.
- ii. Σε πολλά μικρά κομμάτια ουρανίου-235 είναι πιθανότερο να συμβεί αλυσιδωτή αντίδραση απ' ό,τι σε ένα μεγάλο ίσης μάζας με τα μικρά.
- iii. Η εξίσωση  $E=mc^2$  εκφράζει την ισοδυναμία μάζας - ενέργειας.
- iv. Τα προϊόντα μιας σχάσης έχουν μικρότερη μάζα από τα αντιδρώντα.
- v. Τα προϊόντα μιας σύντηξης έχουν μεγαλύτερη μάζα από τα αντιδρώντα.

10. Γιατί δεν υπάρχουν πυρήνες με πολύ περισσότερα από 100 πρωτόνια;

**Ασκήσεις**

1. Με τα δεδομένα του πίνακα 4.1.1 να βρεις ένα στοιχείο που κάνει σύντηξη, ένα στοιχείο που κάνει σχάση και ποιο είναι το πιο σταθερό από αυτά.
2. Πού είναι πιο υγιεινό να ζεις, από άποψη ακτινοβολίας, σε μια παραλία ή σε ένα δάσος με έλατα;
3. Μπορεί να γίνει ραδιοχρονολόγηση με άνθρακα-14 σε ένα πέτρωμα;
4. Ένα ραδιενεργό ισότοπο έχει χρόνο ημιζωής 1 μήνα. Αν ξεκινήσεις σήμερα με 20 γραμμάρια του ισотоπου αυτού, πόσο θα έχεις σε 3 μήνες;

**Προβλήματα**

1. Ο Ήλιος μας παράγει περίπου  $4 \cdot 10^{26}$  J ενέργειας ανά δευτερόλεπτο. Αυτή η ενέργεια προέρχεται από μετατροπή ύλης. Πόση μάζα (σε Kg) του Ήλιου μας μετατρέπεται σε ενέργεια κάθε δευτερόλεπτο; Δίνεται η ταχύτητα του φωτός  $3 \cdot 10^8$  m/s.



## Πώς είναι φτιαγμένος ο κόσμος μας; Μια ερώτηση με μεγάλη ιστορία.

### Βιβλιογραφική δραστηριότητα:



Στην ενότητα 1.1 γνώρισες τη δομή του ατόμου. Πιστεύεις ότι τα πρωτόνια, τα νετρόνια και τα ηλεκτρόνια είναι συμπαγή ή αποτελούνται από μικρότερα σωματίδια;



Κάνε μια επανάληψη στη ενότητα 1.1 σχετικά με τη δομή του ατόμου.

Γιατί ο Δημόκριτος ονόμασε «άτομα» τα μικροσκοπικά σωματίδια από τα οποία αποτελείται η ύλη;

.....

.....

.....

.....

Πώς εξήγησε ο Dalton τους νόμους της Χημείας, τους οποίους ανακάλυψε πειραματικά;

.....

.....

.....

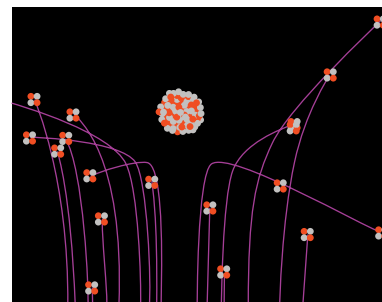
Αυτά τα σωματίια σήμερα τα ονομάζουμε άτομα και διαφέρουν από όσα ισχυρίστηκε ο Δημόκριτος γιατί έχουν δομή. Αποτελούνται δηλαδή από άλλα μικρότερα σωματίδια και συγκεκριμένα, πρώτα βρέθηκε πως αποτελούνται από πρωτόνια και ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια παρατηρήθηκαν το 1894 στο Κέμπριτζ, από τον Joseph John Thomson, ο οποίος μέτρησε τον λόγο μάζα προς φορτίο του ηλεκτρονίου. Πώς περιέγραψε ο Thomson το άτομο;

.....

.....

.....

Στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα (1909) ο Νεοζηλανδός Rutherford επέβλεπε στο Μάντσεστερ το πείραμα Geiger-Marsden. Στο πείραμα αυτό σωματίια α που εκπέμπονταν από ραδιενεργό πολώνιο έπεφταν επάνω σε στόχο που ήταν λεπτό φύλλο χρυσού και με τη βοήθεια ενός φιλμ που είχε τοποθετηθεί γύρω από τον στόχο μπορούσαν να συμπεράνουν τις τροχιές των σωματίων α μετά την αλληλεπίδρασή τους με τα άτομα



Εικόνα 4.2.2: Σωματίια α αλληλεπιδρούν με πυρήνα χρυσού (Στιγμιότυπο από προσομοίωση του Colorado Phet).

του στόχου χρυσού. Τι συμπέρασμα έβγαλε ο Rutherford για το άτομο;

.....

.....

Πώς ο Bohr συμπλήρωσε το πρότυπο του Rutherford;

.....

.....

Οι γνώσεις μας για το άτομο συμπληρώθηκαν από τον James Chadwick, ο οποίος απέδειξε (το 1935) πως στον πυρήνα κάθε ατόμου περιέχεται ακόμα ένα σωματίδιο, χωρίς ηλεκτρικό φορτίο, το νετρόνιο (ουδετερόνιο).



Σήμερα γνωρίζουμε ότι:

- Τα άτομα αποτελούνται από έναν ..... **θετικά φορτισμένο**, γύρω από τον οποίο περιφέρονται τα μικροσκοπικά ..... που είναι **αρνητικά φορτισμένα**. Έτσι ο πυρήνας έλκει τα ηλεκτρόνια.
- Τα ηλεκτρόνια είναι ..... μεταξύ τους. Έχουν την ίδια ..... και το ίδιο .....
- Ο πυρήνας αποτελείται από ..... και ..... Τα πρωτόνια έχουν **θετικό φορτίο** ενώ τα νετρόνια δεν έχουν ..... (λέμε ότι είναι ηλεκτρικά **ουδέτερα**). Συγκροτούνται όμως τόσο κοντά μεταξύ τους με ισχυρότατες πυρηνικές δυνάμεις.
- Όπως ακριβώς και τα ηλεκτρόνια, έτσι και τα πρωτόνια είναι ..... μεταξύ τους. Φυσικά το ίδιο ισχύει και για τα .....
- Το πρωτόνιο και το νετρόνιο έχουν παρόμοια μάζα, η οποία είναι 1836 φορές ..... από του ηλεκτρονίου.
- Το πρωτόνιο και ηλεκτρόνιο έχουν αντίθετα φορτία, **ακριβώς του ίδιου** .....,  $e=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ . Μάλιστα τα φορτία του πρωτονίου και του ηλεκτρονίου είναι τα ..... φορτία που έχουμε παρατηρήσει **ελεύθερα** στη φύση.
- Ο αριθμός των πρωτονίων ενός ατόμου είναι ίσος με τον αριθμό των .....



Περίπου την ίδια εποχή με την ανακάλυψη του νετρονίου (1930) ο Αυστριακός φυσικός Pauli επεσήμανε την ανάγκη ύπαρξης ενός σωματιδίου που θα διασφάλιζε την ισχύ των νόμων της Φυσικής κατά τη ραδιενεργό διάσπαση β. Το σωματίδιο αυτό ονομάστηκε νετρίνο και παρατηρήθηκε σε πειράματα για πρώτη φορά τη δεκαετία του '50 (1956). Πρόκειται για αφόρτιστο σωματίδιο που αλληλεπιδρά ελάχιστα με την υπόλοιπη ύλη και, εάν έχει μάζα, αυτή είναι πολύ μικρή.

Οπότε από το 1935 και έως τη δεκαετία του '70 πιστεύαμε πως ο κόσμος αποτελείται από τέσσερα σωματίδια:

- Ηλεκτρόνια με αρνητικό φορτίο (-e)
- Πρωτόνια με θετικό φορτίο(+e)
- Νετρόνια χωρίς ηλεκτρικό φορτίο.
- Νετρίνα

Τα πρωτόνια και τα νετρόνια ενώνονται με πολύ ισχυρές ελκτικές δυνάμεις και συγκροτούν πυρήνες, γι' αυτό λέγονται και νουκλεόνια. Τα ηλεκτρόνια και οι πυρήνες συγκροτούν τα άτομα. Τα άτομα ενώνονται σε μόρια και από τα μόρια φτιάχνεται το σύμπαν!

Το 1964 ο Αμερικανός φυσικός **Murray Gell-Mann** πρότεινε ότι τα πρωτόνια και τα νετρόνια συνίστανται από άλλα μικρότερα σωματίδια, τα οποία ονόμασε **κουάρκ**. **Η πρόταση αυτή ελέγχθηκε πειραματικά σε εργαστήρια της Αμερικής και της Ευρώπης και σήμερα γίνεται ανεπιφύλακτα δεκτή.**

Έτσι σήμερα δεχόμαστε πως η γνωστή ύλη του κόσμου απαρτίζεται από τέσσερα στοιχειώδη σωματίδια:

(Σημείωση. Έχει καθιερωθεί οι στοιχειώδεις οντότητες χωρίς επιπλέον δομή να λέγονται σωματίδια, ενώ οι οντότητες που έχουν δομή να λέγονται σωματίια).

- Ηλεκτρόνια με αρνητικό φορτίο (-e)
- Άνω (up) κουάρκ με θετικό φορτίο (+2e/3)
- Κάτω (down) κουάρκ με αρνητικό φορτίο (-1e/3)
- Νετρίνα

Δύο άνω και ένα κάτω κουάρκ ενώνονται και δημιουργούν ένα πρωτόνιο.

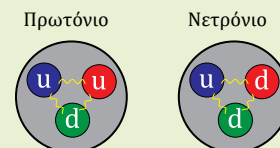
Ένα άνω και δύο κάτω κουάρκ ενώνονται και δημιουργούν ένα νετρόνιο.

Μετά ισχύουν τα ίδια που αναφέρθηκαν και πιο πάνω, δηλαδή τα πρωτόνια και τα νετρόνια συγκροτούν πυρήνες, αυτοί με τα ηλεκτρόνια συγκροτούν άτομα, αυτά ενώνονται σε μόρια και προκύπτουν όλες οι ουσίες.

Τα ηλεκτρόνια και τα νετρίνα κατατάχθηκαν στην κατηγορία των λεπτών σωματιδίων, δηλαδή με πολύ μικρή μάζα και γι' αυτό λέγονται λεπτόνια (leptons).

Με τα τέσσερα αυτά σωματίδια, δύο λεπτόνια και δύο κουάρκ, μπορέσαμε και περιγράψαμε όλη την ύλη του σημερινού σύμπαντος.

Πειράματα κρούσης, όμως, σε πολύ υψηλές ενέργειες, όπως και θεωρητικές μελέτες για τις πρώτες στιγμές του σύμπαντος, δείχνουν πως πρέπει να υπάρχουν ακόμα δύο σειρές παρόμοιων σωματιδίων με τα παραπάνω, που υπήρξαν τις πρώτες στιγμές του σύμπαντος, αλλά, δεν παρατηρούνται πια στον σημερινό κόσμο. Κάθε τέτοια σειρά ονομάζεται γενιά σωματιδίων και παρουσιάζεται στον πίνακα 4.2.1.



Εικόνα 4.2.3: Η δομή του πρωτονίου.



Χρονογραμμή ανασκόπησης των ανακαλύψεων για τα στοιχειώδη σωματίια - σωματίδια.

Πίνακας 4.2.1					
	Λεπτόνια		Κουάρκ		Παρατηρήσεις
1η γενιά	Ηλεκτρόνιο	Νετρίνο του ηλεκτρονίου	Άνω (up)	Κάτω (down)	Από αυτήν τη γενιά σωματιδίων δομείται η σημερινή ύλη
2η γενιά	Μιόνιο	Νετρίνο του μιονίου	Γοητευτικό (charm)	Παράξενο (strange)	Βαρύτερα από τα αντίστοιχα σωματίδια της 1ης γενιάς
3η γενιά	Σωματίδιο ταυ	Νετρίνο του ταυ	Υψηλό (top)	Χαμηλό (bottom)	Βαρύτερα από τα αντίστοιχα σωματίδια της 2ης γενιάς
Φορτίο	-e	0	+2e/3	-1e/3	

Στον πίνακα 4.2.1 περιέχονται 12 σωματίδια και από αυτά αποτελούνται όλα τα σωματίια και κάθε κομμάτι γνωστής ύλης, όπως τα σώματά μας, η Γη και οι αστέρες.

## Ανιχνεύοντας σωματίδια – Θάλαμος νέφωσης

### Πειραματική δραστηριότητα:



Το CERN είναι το μεγαλύτερο σε έκταση κέντρο έρευνας για τη σωματιδιακή φυσική στον κόσμο. Εκεί λειτουργούν επιταχυντές, σε υπόγειες κυκλικές σήραγγες, που επιταχύνουν δέσμες στοιχειωδών σωματιών, όπως πρωτόνια. Οι δέσμες συγκρούονται και νέα σωματίδια κάνουν την εμφάνισή τους, οπότε και ανιχνεύονται σε κατάλληλες διατάξεις. Μπορείς εσύ να ανιχνεύσεις στοιχειώδη σωματίδια στο σχολικό εργαστήριο;



Εικόνα 4.2.4: Πάνω το κουτί με τα παγάκια και το αλάτι. Κάτω η συνολική διάταξη.



**Μέσα σε κουτί** από φελιζόλ **βάλε όσα περισσότερα παγάκια μπορείς, 500g αλάτι** και ελάχιστο νερό. Η διάλυση του αλατιού είναι ενδόθερμη και προσλαμβάνει ενέργεια από το περιβάλλον, που τώρα είναι τα παγάκια. Έτσι η θερμοκρασία τους θα πέσει ακόμα περισσότερο.

Πάνω από τα παγάκια **βάλε ένα μαύρο ταψί**.

**Κόλλησε** στον πάτο ενός διαφανούς δοχείου, **ένα κομμάτι χοντρό βαμβακερό ύφασμα** και βρέξε το με αρκετή ποσότητα ισοπροπανόλης, αλλά όχι τόσο ώστε να τρέχει ή να στάζει. Στο χείλος του δοχείου βάλε πλαστελίνη και αναποδογύρισέ το στο ταψί. Πίεσε ώστε να εφαρμόσει σωστά.

**Βάλε ένα δεύτερο κομμάτι** ύφασμα πάνω στο δοχείο και ρίξε του λίγο βραστό νερό. Πρόσεξε να μην τρέξει από τα πλάγια.

**Κλείσε το φως** και άναψε τον φακό όπως δείχνει η εικόνα 4.2.4. Σημείωσε τις παρατηρήσεις σου.



.....

.....

.....



Σωματάρια φτάνουν συνεχώς στη Γη από το διάστημα. Με τους θαλάμους νέφωσης, όπως είναι αυτός που έφτιαξες, γίνονται ορατές οι τροχιές τους και μπορούμε έτσι να τα ανιχνεύσουμε.

Ο Charles T.R. Wilson έφτιαξε κατά τύχη έναν τέτοιο θάλαμο, μελετώντας τον σχηματισμό των νεφών και τα οπτικά φαινόμενα σε υγρό αέρα. Το 1911 τον τελειοποίησε και το 1927 έλαβε βραβείο Νόμπελ για την ανακάλυψή του.

Η αλκοόλη στο πάνω μέρος του θαλάμου νέφωσης εξατμίζεται και καθώς οι ατμοί της είναι πυκνότεροι από τον αέρα κατεβαίνουν προς τα κάτω όπου η θερμοκρασία είναι πολύ χαμηλότερη. Εκεί βρίσκεται σε αέρια κατάσταση, ενώ κανονικά στη θερμοκρασία αυτή θα έπρεπε να είναι υγρή. Πολύ εύκολα μεταβαίνει σε υγρή κατάσταση αν κάτι διαταράξει αυτήν την ευαίσθητη ισορροπία. Αυτό ακριβώς κάνουν τα φορτισμένα σωματάρια. Ξεκινούν τη διαδικασία συμπύκνωσης και σταγονίδια αλκοόλης δημιουργούνται κατά μήκος της τροχιάς του σωματίου.

Αν αντί για πάγο και αλάτι χρησιμοποιηθεί ξηρός πάγο, τα αποτελέσματα είναι πολύ πιο εντυπωσιακά, καθώς ο ατμός της αλκοόλης στο κάτω μέρος είναι πυκνότερος και ανιχνεύονται πολύ περισσότερα σωματάρια.

**Τι λες, τελειώσαμε; Κι όμως αυτό το ταξίδι δεν μοιάζει να τελειώνει ποτέ.**

Μπορούμε να προσθέσουμε μία απαίτηση της σύγχρονης θεωρίας για τον μικρόκοσμο, αυτήν της κβαντομηχανικής. Σύμφωνα με μία βασική συμμετρία, που προβλέπεται από αυτή, για κάθε σωματίδιο πρέπει να υπάρχει το **αντισωματίδιό** του. Έτσι προέκυψε η έννοια της αντιύλης. Τα σωματάρια της έχουν ίση μάζα και **αντίθετο φορτίο** με τα αντίστοιχα της ύλης. Δηλαδή, το αντι-ηλεκτρόνιο, που λέγεται και ποζιτρόνιο, θα έχει ίδια μάζα με το ηλεκτρόνιο και ίσο φορτίο, αλλά θετικό. Έτσι τα στοιχειώδη σωματάρια διπλασιάζονται και γίνονται 24!

Θα μπορούσε να υπάρχει ένας κόσμος αντιύλης όπου θα υπήρχαν αντι-άτομα με αρνητικούς αντι-πυρήνες και θετικά αντι-ηλεκτρόνια. Ένας τέτοιος κόσμος θα λειτουργούσε όπως και ο γνωστός μας. Απλά αντι-μόρια έχουν ήδη δημιουργηθεί στα εργαστήρια Φυσικής. Το πρόβλημα είναι πως όποτε έρχεται σε επαφή η ύλη και η αντιύλη, μετατρέπονται σε ενέργεια. Γι' αυτό είναι δύσκολο να διατηρηθούν σημαντικές ποσότητες αντιύλης.

Τα είκοσι τέσσερα παραπάνω σωματίδια και αντισωματίδια αρκούν για να περιγράψουμε την ύλη και την αντι-ύλη, από την αρχή του σύμπαντος έως σήμερα, και κατατάσσονται στα φερμιόνια από το όνομα του Enrico Fermi (Ενρίκο Φέρμι), ενός πολύ σπουδαίου Ιταλού φυσικού. Το βασικότερο χαρακτηριστικό τους είναι πως δεν μπορούν να βρεθούν περισσότερα από ένα στην ίδια ακριβώς κατάσταση.

Παρατήρηση: Θα πρόσεξες πως τα κουάρκ έχουν φορτίο που είναι κλάσμα (δηλαδή μικρότερο) του φορτίου ενός ηλεκτρονίου ή ενός πρωτονίου. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με μια πολύ σημαντική πρόταση που έχεις μάθει, δηλαδή πως το φορτίο ενός σωματίου είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του φορτίου του ηλεκτρονίου. Η αντίθεση διορθώνεται διότι δεν παρατηρούνται ΕΛΕΥΘΕΡΑ σωματίδια στη φύση με φορτίο μη ακέραιο πολλαπλάσιο του ηλεκτρονίου. Άρα τα κουάρκ έχουν φορτίο μικρότερο του ηλεκτρονίου, αλλά παρατηρούνται πάντα σε κατάλληλους συνδυασμούς (όπως αυτούς του πρωτονίου και του νετρονίου), ώστε το συνολικό φορτίο του σωματίου να είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του ηλεκτρονίου.

## Πώς μεταφέρονται οι αλληλεπιδράσεις;

### Βιβλιογραφική δραστηριότητα:

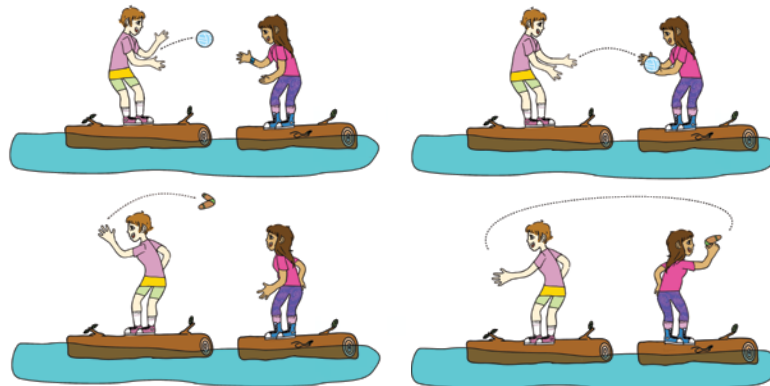


Θυμήσου τι έμαθες στη Β' Γυμνασίου. Πώς μεταφέρονται οι αλληλεπιδράσεις στη φύση;

.....



Η εικόνα 1.3.13 του βιβλίου της Β' Γυμνασίου θα σε βοηθήσει να περιγράψεις τις ελκτικές και τις απωστικές αλληλεπιδράσεις.



.....

.....



Η επικρατέστερη θεωρία της Φυσικής για τον τρόπο με τον οποίο δύο σώματα αλληλεπιδρούν είναι η κβαντική θεωρία πεδίου QFT. Η βασική της σκέψη εδράζεται στο γεγονός πως αν δύο άνθρωποι στέκονται απέναντι ο ένας στον άλλον και ανταλλάσσουν μία μπάλα, πετώντας την ο ένας στον άλλο θα αρχίσουν να απωθούνται.

Έτσι η QFT δέχεται πως κάθε αλληλεπίδραση πραγματοποιείται με την ανταλλαγή σωματιδίων ανάμεσα στα

σώματα που αλληλεπιδρούν. Το σωματίδιο που ανταλλάσσεται λέγεται κβάντο του πεδίου. Τα σωματίδια αυτά, φορείς των αλληλεπιδράσεων, έχουν παρατηρηθεί σε σημαντικά πειράματα, όπως αυτά που γίνονται στο CERN, και έχουν οδηγήσει στην ενοποίηση δυνάμεων και σε βραβεία Νόμπελ.

Όλα τα σωματίδια φορείς των αλληλεπιδράσεων ανήκουν σε μία νέα κατηγορία σωματιδίων που λέγονται μποζόνια γιατί ακολουθούν άλλους κανόνες (κατανομή Bose-Einstein) από τα φερμιόνια και μπορούν να βρεθούν πολλά στην ίδια ακριβώς κατάσταση.

Τα γνωστά σωματίδια φορείς αλληλεπιδράσεων είναι το φωτόνιο, τα W, Z και το gluon (γκλουόνιο).

Το φωτόνιο, το W και το Z ευθύνονται για την ηλεκτρομαγνητική και την πυρηνική ασθενή δύναμη που προκαλεί τα ραδιενεργά φαινόμενα. Το γκλουόνιο μεταφέρει την ισχυρή πυρηνική δύναμη που συγκρατεί τα πρωτόνια και τα νετρόνια στον πυρήνα.

Προβλέπεται και η ύπαρξη ενός μποζονίου που μεταφέρει τη βαρυτική δύναμη, ονομάζεται graviton (βαρυτόνιο), αλλά δεν έχει ακόμα παρατηρηθεί.

Ένα τελευταίο διάσημο μποζόνιο είναι το μποζόνιο Higgs που πρόσφατα παρατηρήθηκε σε πειράματα στο CERN. Πρόκειται για το μποζόνιο του πεδίου που δίνει μάζα στα σωματίδια.

Ας ανακεφαλαιώσουμε:

Πίνακας 4.2.2			
<b>Σωματίδια που μεταφέρουν αλληλεπιδράσεις (μποζόνια)</b>			
Φωτόνια	W <sup>+</sup> , W <sup>-</sup> και Z <sup>0</sup>	Γκλουόνια	Βαρυτόνια
<b>Σωματίδιο που δίνει μάζα</b>			
Μποζόνιο του Higgs			

Το συνολικό μοντέλο για τα στοιχειώδη σωματίδια, όπως αναπτύχθηκε παραπάνω, ονομάζεται καθιερωμένο πρότυπο (standard model) και απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 4.2.6: Συνοπτική παρουσίαση των κουάρκς και λεπτονίων ύλης και των μποζονίων.

Καινούργια προβλήματα, όπως η σύσταση της σκοτεινής ύλης του σύμπαντος και νέες προτεινόμενες λύσεις, έχουν στρέψει την έρευνα της Φυσικής στην αναζήτηση και άλλων σωματιδίων, όπως τα υπερσυμμετρικά σωματίδια.

Γι' αυτό ίσως μέχρι να διαβάσεις αυτές τις γραμμές καινούργιες εγγραφές να έχουν γίνει στον κατάλογο των στοιχειωδών σωματιδίων.



## Διεπιστημονικές – Διαθεματικές Εφαρμογές της Θεωρίας, Γενίκευση, Εμπέδωση, Ερμηνείες με τον μικρόκοσμο

### 1. Τεχνολογικές εφαρμογές των στοιχειωδών σωματιδίων

Η κυριότερη καθημερινή υπηρεσία που μας προσφέρουν τα στοιχειώδη σωματίια είναι η λειτουργία των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών. Αυτές λειτουργούν με ηλεκτρόνια και εξυπηρετούν απίστευτες ανάγκες μας διαρκώς, όπως στην ενημέρωση, στη διασκέδαση, στην εργασία, στην Ιατρική, στην επικοινωνία κ.λπ.

Βρίσκουν επίσης πολύ σημαντικές εφαρμογές σε θέματα, υγείας, διάγνωσης και θεραπείας, όπως οι ακτινογραφίες, οι ποζιτρονικές τομογραφίες, οι θεραπείες με ακτινοβολίες κ.ά.



Εικόνα 4.2.7: Διαγνωστικός έλεγχος ασθενούς.

### 2. Το ηλεκτροσκόπιο και οι κοσμικές ακτίνες

Ένα φαινόμενο που είχε παρατηρηθεί από τους φυσικούς ήδη από τον 18ο αιώνα ήταν η αυθόρμητη εκφόρτιση των ηλεκτροσκοπίων, παρά την ενίσχυση της μόνωσής τους.

Αρχικά υπέθεσαν ότι ακτινοβολία ή φορτισμένα σωματίδια από τη Γη είναι υπεύθυνα για την εκφόρτιση.



Εικόνα 4.2.8: Όσο καλά κι αν είναι μονωμένο το ηλεκτροσκόπιο για να προστατευτεί από την υγρασία, τελικά θα εκφορτιστεί από την κοσμική ακτινοβολία.

Ο φυσικός **Victor Hess** (Βίκτορ Χες) πραγματοποίησε πειράματα με ηλεκτροσκόπιο χρησιμοποιώντας αερόστατο. Σε μετρήσεις που έκανε το 1911 σε υψόμετρο 1.100 μέτρων δεν παρατήρησε καμία ουσιαστική αλλαγή στον χρόνο εκφόρτισης του ηλεκτροσκοπίου σε σχέση με το έδαφος, ενώ ανεβαίνοντας πιο ψηλά ο χρόνος μειωνόταν αντί να αυξάνεται, όπως θα συνέβαινε αν τα φορτισμένα σωματίδια προέρχονταν από τη Γη.

Η επόμενη υπόθεση ήταν ότι τα φορτισμένα σωματίδια προέρχονταν από τον Ήλιο. Έτσι, στις 7 Αυγούστου του 1912 ο Hess έκανε μετρήσεις σε ύψος 5300 μέτρων κατά τη διάρκεια μιας σχεδόν ολικής έκλειψης του Ήλιου. Όμως ο χρόνος εκφόρτισης του ηλεκτροσκοπίου δεν αυξήθηκε κατά τη διάρκεια της έκλειψης. Αυτό οδήγησε στο συμπέρασμα ότι πηγή της ακτινοβολίας δεν ήταν ο Ήλιος, αλλά το απώτερο διάστημα. Ο Hess μόλις είχε ανακαλύψει τις κοσμικές ακτίνες και γι' αυτό βραβεύθηκε με το **Νόμπελ Φυσικής το 1936**.

Σήμερα γνωρίζουμε ότι οι **κοσμικές ακτίνες ή κοσμική ακτινοβολία** είναι μία κατηγορία ακτινοβολίας που αποτελείται από σωματίδια υψηλών ενεργειών, τα οποία παράγονται σε κάποιο μέρος του Σύμπαντος μακριά από τη Γη και προσκρούουν στην ατμόσφαιρα της Γης με ανιχνεύσιμα αποτελέσματα. Αποτελούνται κυρίως από ατομικούς πυρήνες, δηλαδή, θετικά φορτισμένα σωματίδια και κύρια πηγή τους είναι οι υπερκαινοφανείς αστέρες.

Εννοιολογικός Χάρτης



Ενότητας 4.2

**Ερωτήσεις**

1. Γράψε το γράμμα (Σ) στο τέλος κάθε πρότασης που είναι σωστή και το γράμμα (Λ) στο τέλος κάθε πρότασης που είναι λανθασμένη.

- i. Τα πρωτόνια αποτελούνται από 3 κουάρκ.
- ii. Τα νετρόνια αποτελούνται από 3 κουάρκ.
- iii. Τα ηλεκτρόνια αποτελούνται από 3 κουάρκ.
- iv. Τα νετρίνα αποτελούνται από 3 κουάρκ.

2. Γράψε το γράμμα (Σ) στο τέλος κάθε πρότασης που (κατά τη γνώμη σου) είναι σωστή και το γράμμα (Λ) στο τέλος κάθε πρότασης που είναι λανθασμένη.

- i. Το ηλεκτρόνιο, το μόνιο και το σωματίδιο του έχουν φορτίο  $-e$ .
- ii. Τα νετρίνα έχουν φορτίο  $-e$ .
- iii. Τα κουάρκ έχουν φορτίο ακέραιο πολλαπλάσιο του  $e$ .

3. Γράψε το γράμμα (Σ) στο τέλος κάθε πρότασης που είναι σωστή και το γράμμα (Λ) στο τέλος κάθε πρότασης που είναι λανθασμένη.

- i. Όλες οι αλληλεπιδράσεις στη φύση μεταφέρονται με σωματίδια φορείς.
- ii. Το φωτόνιο είναι φορέας της ηλεκτρομαγνητικής αλληλεπίδρασης.
- iii. Το μποζόνιο Higgs είναι φορέας της ηλεκτρομαγνητικής αλληλεπίδρασης.
- iv. Πρόσφατα ανακαλύφθηκαν και τα βαρυτόνια.

**Ασκήσεις**

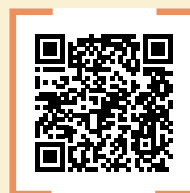
1. Τι φορτίο έχει ένα σωματίο που αποτελείται από 2 κουάρκ πάνω και ένα κουάρκ κάτω;
2. Ακολούθησε τον σύνδεσμο για να συμπληρώσεις ένα σταυρόλεξο.



3. Ακολούθησε τον σύνδεσμο για να ελέγξεις όσα έμαθες.

**Προβλήματα**

1. Αφού στη φύση παρατηρούνται φορτία που είναι ακέραια πολλαπλάσια του στοιχειώδους ηλεκτρικού φορτίου, πώς είναι δυνατόν τα κουάρκ να έχουν φορτίο που είναι κλάσμα του  $e$ ;
2. Λύσε το πρόβλημα στον σύνδεσμο.



## 4.3 Στοιχεία κοσμολογίας και σχετικότητα

**Μετά από αυτή την ενότητα θα είσαι σε θέση να:**

1. αναφέρεις τις βασικές αρχές της θεωρίας της σχετικότητας που συνέβαλαν στην εξέλιξη της επιστήμης.
2. ενημερωθείς για τις βασικές επιστημονικές θεωρίες σχετικά με την αρχή και την εξέλιξη του σύμπαντος.



### Το φαινόμενο των διδύμων

Ένα διάσημο νοητικό πείραμα σχετικό με τη θεωρία της σχετικότητας και τη διαστολή του χρόνου είναι αυτό που είναι γνωστό ως φαινόμενο ή παράδοξο των διδύμων.

Σύμφωνα με αυτό κάπου ζουν δύο δίδυμοι, ο Φίλιππος και ο Ναθαναήλ. Όταν γίνονται 20 ετών, ο Φίλιππος παντρεύεται, δημιουργεί οικογένεια και μένει σε ένα ήρεμο σπίτι στη Γη ενώ ο Ναθαναήλ που του αρέσει η περιπέτεια γίνεται αστροναύτης και ξεκινά ένα διαστημικό ταξίδι ως επιβάτης ενός διαστημοπλοίου που κινείται πολύ γρήγορα, σχεδόν με την ταχύτητα του φωτός στο κενό.



Εικόνα 4.3.2: Ο Ναθαναήλ αναχωρεί για το ταξίδι του.



Εικόνα 4.3.1: Ο Φίλιππος και ο Ναθαναήλ 20 χρονών.

Το διαστημόπλοιο του Ναθαναήλ επιταχύνεται απομακρυνόμενο από τη Γη, πιάνει σύντομα την τελική του ταχύτητα (ελάχιστα μικρότερη από την ταχύτητα του φωτός στο κενό) απομακρύνεται από τη Γη, στρίβει και επιστρέφει στη Γη, όπου για κατάλληλο χρόνο επιβραδύνεται και τελικά προσγειώνεται. Το ρολόι στην κονσόλα του διαστημοπλοίου, αλλά και αυτό που φορά στο χέρι του ο Ναθαναήλ δείχνουν πως πέρασε ένα έτος από την αναχώρηση. Ταυτόχρονα ο Ναθαναήλ έφαγε, ξυρίστηκε, γέρασε ακριβώς όσο αντιστοιχεί σε ένα έτος, δηλαδή είναι 21 ετών.

Η πρώτη επίσκεψη που θα κάνει μετά την επιστροφή του στη Γη είναι στο σπίτι του αδελφού του, του Φίλιππου. Του ανοίγει ένας παππούς που έχει δίπλα του το εγγόνι του. Ο Ναθαναήλ ρωτά, «Πού είναι ο Φίλιππος;» και ο παππούς απαντά, «Ναθαναήλ αδελφέ μου, εγώ είμαι ο Φίλιππος!»

Αυτό ακριβώς προβλέπεται να συμβεί από τη θεωρία της σχετικότητας. Ενώ για τον Φίλιππο θα έχουν περάσει 40 έτη (ίσως και περισσότερα), για τον Ναθαναήλ πέρασε μόνο ένα έτος!

Δεν έχουμε μπορέσει ακόμα να κάνουμε πραγματικότητα αυτό το πείραμα με ανθρώπους γιατί δεν έχουμε κατασκευάσει τόσο γρήγορα διαστημόπλοια. Κάναμε όμως πολλά παρόμοια πειράματα με σωματίδια και το αποτέλεσμα ήταν ακριβώς το αναμενόμενο!



Εικόνα 4.3.3: Ο Φίλιππος και ο Ναθαναήλ, μετά το ταξίδι του Ναθαναήλ.

## Ας αναρωτηθούμε

1. Τι διαφορετικό συνέβη στον Ναθαναήλ στη διάρκεια του ταξιδιού σε σχέση με τον Φίλιππο;
2. Τι θα ρώταγες τον Φίλιππο αν ήσουν ο Ναθαναήλ και το αντίστροφο;
3. Ποια συναισθήματα θα ένιωθες αν ήσουν ο Φίλιππος και ποια αν ήσουν ο Ναθαναήλ;



### Εισαγωγή - Σχόλιο

Παρόλο που η θεωρία της σχετικότητας περιβάλλεται από μία αίγλη πως είναι μία θεωρία δυσνόητη που μόνο άνθρωποι σπάνιας ευφυΐας μπορούν να κατανοήσουν, όπως ο Αϊνστάιν, θα δείτε πως είναι μία λογική και κατανοητή θεωρία βασισμένη στην πάγια προσέγγιση της Φυσικής, ότι δηλαδή απορρίπτουμε ό,τι δεν επαληθεύεται από τα πειράματα και αποδεχόμαστε την απλούστερη εκδοχή που επαληθεύει όσα παρατηρούμε.

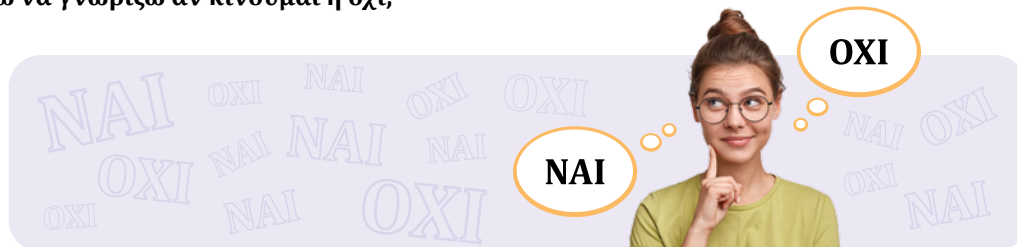
Ένα σημαντικό φαινόμενο από το οποίο θα ξεκινήσουμε, για να καταλάβουμε τη σχετικότητα, είναι το φαινόμενο της κίνησης, και το πιο σημαντικό μέγεθος που σχετίζεται με την κίνηση είναι η ταχύτητα.

## Η αρχή της σχετικότητας

### Νοητική δραστηριότητα:



Μπορώ να γνωρίζω αν κινούμαι ή όχι;



Σκέψου πως ταξιδεύεις με τους συμμαθητές σου στο διάστημα μέσα σε ένα διαστημόπλοιο. Είστε στο απόλυτο σκοτάδι, χωρίς αστέρια ή οτιδήποτε άλλο ορατό. Ξαφνικά προβάλλει ένα άλλο διαστημόπλοιο με εξωγήινους, φωτίζεται από τους προβολείς σας, περνά δίπλα σας, οι εξωγήινοί σας χαιρετούν και χάνονται πάλι στο σκοτάδι.

Ένας από εσάς λέει: «Παιδιά οι εξωγήινοι κινούνται, εμείς έχουμε κολλήσει, είμαστε ακίνητοι!»

Μία συμμαθήτριά σας έχει άλλη γνώμη. Λέει: «Όχι! Οι εξωγήινοι ήταν ακίνητοι, εμείς κινούμαστε.» Και ένας άλλος συμπληρώνει: «Και εμείς κινούμαστε και αυτοί κινούνται.» Ποιος έχει δίκιο. Μήπως όλοι;

.....

.....



Το ερώτημα αυτό το επεξεργάστηκε πρώτος ο Γαλιλαίος.

Ας υποθέσουμε πως βρίσκεσαι στην καμπίνα ενός πλοίου, δεν έχεις τη δυνατότητα να δεις έξω από την καμπίνα και αναρωτιέσαι αν το πλοίο είναι ακίνητο στο λιμάνι ή αρμενίζει στον ωκεανό με σταθερή ταχύτητα. Ποιο πείραμα μπορείς να κάνεις στην καμπίνα σου (χωρίς να βλέπεις έξω) για να λύσεις την απορία σου;

Θα μπορούσες να αφήσεις ένα αντικείμενο, όπως για παράδειγμα τα κλειδιά σου να πέσουν. Τι από τα παρακάτω νομίζεις πως θα συμβεί;



**Εικόνα 4.3.4:** Ένας άνθρωπος σε καμπίνα πλοίου αφήνει τα κλειδιά να πέσουν και ακολουθούν καμπύλη τροχιά.

Εάν το πλοίο δεν κινείται, τα κλειδιά θα πέσουν κατακόρυφα μπροστά στα πόδια σου, αλλιώς θα κινηθούν καμπυλόγραμμα και θα πέσουν μακριά από τα πόδια σου. Συγκεκριμένα, αν τα κλειδιά πέσουν αριστερά από τα πόδια σου, το πλοίο κινείται προς τα δεξιά.



**Εικόνα 4.3.5:** Ένας άνθρωπος σε καμπίνα πλοίου αφήνει τα κλειδιά να πέσουν και πέφτουν κατακόρυφα.

Τα κλειδιά θα πέσουν κατακόρυφα μπροστά στα πόδια σου σε κάθε περίπτωση ανεξάρτητα εάν το πλοίο είναι ακίνητο ή κινείται με σταθερή ταχύτητα.

Ποια απάντηση θα διάλεγες πριν συνεχίσεις το διάβασμα και γιατί;

.....

.....

.....

Μπορείς να δοκιμάσεις το πείραμα ενώ θα είσαι επιβάτης σε πλοίο, τρένο, αεροπλάνο, λεωφορείο, αυτοκίνητο (που κινείται ευθύγραμμα και ομαλά). Θα ανακαλύψεις πως όσο γρήγορα και να κινείται, τα κλειδιά πέφτουν μπροστά στα πόδια σου, δηλαδή σύμφωνα με το πείραμα σωστή είναι η απάντηση Β.

Άρα το πείραμα αυτό δεν μπορεί να διακρίνει αν κινούμαστε ή όχι.



Δεν έχει βρεθεί πείραμα που να μπορεί να γίνει μέσα στο εργαστήριο και να μπορεί να απαντήσει αν το εργαστήριο είναι ακίνητο ή έχει – τη στιγμή εκείνη – κάποια ταχύτητα.

Αυτό σημαίνει πως οι ευθύγραμμες ομαλές κινήσεις είναι ..... ή αλλιώς πως η .....και η ..... κίνηση δεν είναι δυνατό να διακριθούν! Αυτή η πρόταση είναι γνωστή ως αρχή του Γαλιλαίου.



## Αρχή της σχετικότητας

Τα φυσικά φαινόμενα τα παρατηρούμε, τα καταγράφουμε και τα ερμηνεύουμε ως παρατηρητές. Οι παρατηρητές που κινούνται ευθύγραμμα και ομαλά λέγονται αδρανειακοί παρατηρητές.

Σύμφωνα με όσα διερευνήσαμε, **όλοι οι αδρανειακοί παρατηρητές που μελετούν το ίδιο φαινόμενο θα πρέπει να καταλήγουν στον ίδιο νόμο** (ή νόμους), διότι αν κάποιος κατέληγε σε άλλο νόμο αυτό θα μπορούσε να τον διακρίνει από τους υπόλοιπους αδρανειακούς παρατηρητές και έτσι να ξεχωρίσουμε ποιος πραγματικά κινείται και ποιος είναι ακίνητος!

Η παραπάνω διατύπωση ονομάζεται **αρχή της σχετικότητας** και αποτελεί γενίκευση της αρχής του Γαλιλαίου. Αποτελεί την πρώτη από τις δύο βασικές παραδοχές στις οποίες στηρίχθηκε η ειδική θεωρία της σχετικότητας και διατυπώθηκε από τον Αϊνστάιν αφού έλαβε υπόψη και όσα σκέφτηκε ο Γαλιλαίος αλλά και φαινόμενα που αφορούσαν το φως.

## Η ειδική θεωρία της σχετικότητας

### Νοητική δραστηριότητα:



Έχεις μπορέσει ποτέ να διακρίνεις πόσος χρόνος μεσολαβεί από τη στιγμή που ανάβει η λάμπα έως τη στιγμή που φωτίζεται το πάτωμα από κάτω της; Σίγουρα όχι γιατί το φως κινείται υπερβολικά γρήγορα. Μάλιστα ο Γαλιλαίος, αφού προσπάθησε να μετρήσει την ταχύτητα του φωτός και απέτυχε, υπέθεσε πως κινείται με άπειρη ταχύτητα!



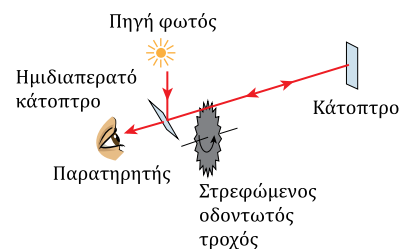
Η ταχύτητα του φωτός μετρήθηκε για 1η φορά το 1849 από τον Fizeau (Φιζώ). Το πείραμα δεν πετυχαίνει εύκολα στο σχολικό εργαστήριο αλλά βασίζεται σε πολύ απλές ιδέες.

Το πείραμα αυτό έδειξε πως η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι 315.000.000 m/s.

Το 1862 ο Foucault (Φουκώ) τροποποίησε την πειραματική διάταξη (αντί για στρεφόμενο οδοντωτό τροχό χρησιμοποίησε περιστρεφόμενο κάτοπτρο) χωρίς να αλλάξει την ιδέα και μέτρησε ταχύτητα 298.000.000 m/s. Σήμερα μετά από εκατοντάδες μετρήσεις καταλήξαμε στην τιμή 299.792.458 m/s.



Αν και ο Γαλιλαίος πίστευε πως η ταχύτητα του φωτός είναι ..... , σήμερα γνωρίζουμε ότι έχει μια πεπερασμένη ..... ίση με ..... m/s



Εικόνα 4.3.6: Η διάταξη του Fizeau για τη μέτρηση της ταχύτητας του φωτός.



### Νοητική δραστηριότητα:



Μετράνε όλοι οι αδρανειακοί παρατηρητές την ίδια ταχύτητα για μία βολίδα όπλου;



Έστω ένα τρένο που τρέχει με σταθερή ταχύτητα  $50\text{m/s}$ . Κάποιος επιβάτης του τρένου βγάζει το χέρι του από το παράθυρο και με ένα όπλο πυροβολεί προς τα εμπρός (στην ίδια κατεύθυνση με την κίνηση του τρένου). Η βολίδα βγαίνει από την κάννη του όπλου με ταχύτητα  $350\text{m/s}$  και δεχόμαστε πως και αυτή μένει σταθερή.

Πόση ταχύτητα μετρά για τη βολίδα ένας αδρανειακός παρατηρητής που βρίσκεται επάνω στο τρένο και πόση ένας αδρανειακός παρατηρητής που είναι έξω και μπροστά από το τρένο, ακίνητος ως προς το έδαφος;



**Εικόνα 4.3.7:** Κάποιος πυροβολεί από ένα τρένο. Απεικονίζονται τα διανύσματα των ταχυτήτων του τρένου και της βολίδας ως προς το τρένο. Υπάρχουν και δύο παρατηρητές. Ο ένας είναι αυτός που πυροβολεί και ο άλλος είναι έξω από το τρένο και ακίνητος ως προς το έδαφος.



Ποια απάντηση διαλέγεις; Την Α, τη Β ή τη Γ;

.....

Μετρούν την ίδια ταχύτητα, αυτή που έχει η βολίδα όταν βγαίνει από την κάννη, δηλαδή  $350\text{m/s}$ .

A

Μετρούν διαφορετικές ταχύτητες. Αυτός που είναι επάνω στο τρένο μετρά πως η βολίδα έχει ταχύτητα αυτή που έχει όταν βγαίνει από την κάννη, δηλαδή  $350\text{m/s}$  και ο ακίνητος ως προς το έδαφος μετρά για τη βολίδα την ταχύτητα αυτή που έχει η βολίδα ως προς την κάννη και επιπλέον την ταχύτητα του τρένου, γιατί το όπλο κινείται μαζί με το τρένο, δηλαδή  $400\text{m/s}$ .

B

Μετρούν την ίδια ταχύτητα, αυτή που έχει η βολίδα ως προς την κάννη, και επιπλέον την ταχύτητα του τρένου γιατί το όπλο κινείται μαζί με το τρένο δηλαδή  $400\text{m/s}$ .

Γ



## Μετασχηματισμοί Γαλιλαίου

Εάν μπορούσες να κάνεις αυτές τις μετρήσεις, θα έβρισκες πως σωστή είναι η απάντηση Β.

Μία εξήγηση της απάντησης είναι πως πριν τη σχετικότητα, στη λεγόμενη κλασική Φυσική θεωρούσαμε τις ταχύτητες διανύσματα στον χώρο των τριών διαστάσεων. Η ταχύτητα που μετρά κάθε παρατηρητής προκύπτει από προσθέσεις και αφαιρέσεις τέτοιων διανυσμάτων και αυτές οι πράξεις δίνουν αποτελέσματα σε συμφωνία με το παραπάνω πείραμα. Άρα δεν είχαμε κανένα πρόβλημα!

## Νοητική δραστηριότητα:



Μετράνε όλοι οι αδρανειακοί παρατηρητές ίδια ταχύτητα για το φως στο κενό;



Επαναλαμβάνουμε περίπου το ίδιο νοητικό πείραμα, αλλά αντί για βολίδα ας βάλουμε φως.

Έστω ένα τρένο που τρέχει με σταθερή ταχύτητα  $50\text{m/s}$ . Ένας προβολέας που βρίσκεται στο μπροστινό μέρος του τρένου εκπέμπει φως προς τα εμπρός. Το φως «βγαίνει» από τον προβολέα με ταχύτητα  $300.000.000\text{m/s}$ . Φυσικά, το πείραμα γίνεται μέσα στον αέρα της ατμόσφαιρας. Η διαφορά του τρόπου διάδοσης του φωτός στον αέρα και το κενό είναι αμελητέα, οπότε μπορούμε να φανταστούμε πως το πείραμα γίνεται στο κενό.

Πόση ταχύτητα μετρά για το φως ένας αδρανειακός παρατηρητής που βρίσκεται επάνω στο τρένο και πόση ένας αδρανειακός παρατηρητής που είναι έξω από το τρένο, ακίνητος ως προς το έδαφος;



**Εικόνα 4.3.8:** Ένα τρένο έχει μπροστά προβολέα. Απεικονίζονται τα διανύσματα των ταχυτήτων του τρένου και του φωτός (όχι σε ουσιαστική αναλογία). Υπάρχουν και δύο παρατηρητές. Ένας μέσα στο τρένο και ένας ακίνητος ως προς το έδαφος.

Μετρούν την ίδια ταχύτητα, αυτή που έχει το φως ως προς τον προβολέα, δηλαδή  $300.000.000\text{m/s}$ .

A

Μετρούν διαφορετικές ταχύτητες. Αυτός που είναι επάνω στο τρένο μετρά πως το φως έχει ταχύτητα αυτή που έχει το φως ως προς τον προβολέα, δηλαδή  $300.000.000\text{m/s}$  και ο ακίνητος ως προς το έδαφος μετρά για το φως ταχύτητα αυτή που έχει το φως ως προς τον προβολέα και επιπλέον την ταχύτητα του τρένου, δηλαδή  $300.000.050\text{m/s}$ .

B

Μετρούν την ίδια ταχύτητα, αυτή που έχει το φως ως προς τον προβολέα και επιπλέον την ταχύτητα του τρένου, γιατί ο προβολέας κινείται μαζί με το τρένο, δηλαδή  $300.000.050\text{m/s}$ .

Γ

Ποια απάντηση διαλέγεις τώρα; Την Α, τη Β ή τη Γ;



## Η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι πάντα η ίδια

Τέτοια πειράματα έχουν γίνει πολλές φορές, με διασημότερο αυτό που έγινε από τους Michelson και Morley (1887) και η απάντηση που προκύπτει από τα πειράματα είναι η πρώτη.

Όλοι οι αδρανειακοί παρατηρητές μετρούν ίδια ταχύτητα για το φως στο κενό ανεξάρτητα από τη δική τους σχετική κίνηση!

### Νοητική δραστηριότητα:



**Πώς μπορεί να ερμηνευθεί ότι διαφορετικοί αδρανειακοί παρατηρητές μετρούν διαφορετικές ταχύτητες για τη βολίδα όπλου και ίσες για το φως;**

Είναι το φως κάτι διαφορετικό και πρέπει να το κατανοήσουμε καλύτερα ή κάτι μας έχει διαφύγει στο τι είναι η ταχύτητα;

Αυτά που δεν μπορούμε να αμφισβητήσουμε είναι τα αποτελέσματα των πειραμάτων. Το πείραμα είναι ο αδέκαστος κριτής της Φυσικής.



Δυστυχώς δεν είναι εύκολο να διερευνήσεις μόνος/η το ερώτημα αυτό. Μπορείς όμως να παρακολουθήσεις τα βήματα της έρευνας των επιστημόνων εκείνης της εποχής.

Όταν έγινε αντιληπτό πως η ταχύτητα του φωτός έχει πάντα την ίδια τιμή, οι περισσότεροι φυσικοί εκείνης της εποχής έστρεψαν την έρευνά τους προς την κατεύθυνση **πως κάτι παράξενο συμβαίνει με το φως και τη διάδοσή του.**

Για την ακρίβεια υπήρχε η αντίληψη πως, όπως για τη διάδοση του ήχου χρειάζεται ο αέρας (ή κάποιο άλλο υλικό), έτσι και για τη διάδοση του φωτός χρειάζεται κάποιο μέσο. Στο υποθετικό αυτό μέσο είχε δοθεί ένα εξωτικό όνομα. Ονομαζόταν αιθέρας. Αν υπήρχε θα έπρεπε να αποτελεί το μέσο διάδοσης του φωτός αλλά και όλων των άλλων ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, όπως τα ραδιοκύματα, οι ακτίνες Χ κ.λπ. Άρα έπρεπε να βρίσκεται παντού μέσα στα υλικά αλλά και στον κενό χώρο.

Είχαν εκπονηθεί πολλές εργασίες που εξηγούσαν πως ο αιθέρας μπορούσε να ερμηνεύσει τη βαρύτητα, την απελευθέρωση ενέργειας από τα άτομα κ.ά. Επίσης, είχαν υπάρξει αρκετές (κάπως παράξενες) υποθέσεις που θα μπορούσαν να ερμηνεύσουν γιατί η ταχύτητα του φωτός μετρείται πάντα ίδια.

Κανένα πείραμα όμως δεν επαλήθευσε αυτές τις υποθέσεις και κανένα πείραμα δεν επιβεβαίωσε την ύπαρξη του αιθέρα.

Το σημαντικό βήμα ήρθε από τον Αϊνστάιν. Αρχικά δέχθηκε το γεγονός:

**Η ταχύτητα του φωτός στο κενό έχει την ίδια τιμή για όλους τους αδρανειακούς παρατηρητές.**

Το παραπάνω γεγονός οφείλουμε να το δεχθούμε ως το επιβεβαιωμένο αποτέλεσμα πολλών πειραμάτων και αποτελεί τη δεύτερη βασική παραδοχή για τη θεωρία της σχετικότητας.

Μετά, σε γενικές γραμμές, σκέφθηκε ως εξής:

Το πρόβλημα που αντιμετωπίζουμε δεν είναι το ίδιο το φως, αλλά η ταχύτητά του. Ακριβέστερα παρατηρούμε να υπάρχει διαφορά στον τρόπο με τον οποίο συμπεριφέρεται η ταχύτητα μίας βολίδας όπλου και του φωτός. Η ταχύτητα όμως είναι το πηλίκο του μήκους προς τον χρόνο. **Μήπως πρέπει να επανεξετάσουμε πως αντιλαμβανόμαστε το μήκος (χώρο) και τον χρόνο;**

Η προσέγγιση αυτή ισοδυναμούσε με το να έχουμε ένα σπίτι στο οποίο η εξώπορτα δεν κλείνει και αντί να αλλάξουμε εξώπορτα να αποφασίσουμε να την κρατήσουμε και να χτίσουμε από την αρχή καινούργιο σπίτι! Καταλαβαίνεις πως οι έννοιες του χώρου και του χρόνου υπεισέρχονται σε όλα τα φαινόμενα και τους νόμους της Φυσικής και η τροποποίησή τους θα επηρεάσει ως ντόμινο σχεδόν τα πάντα. Παρ' όλα αυτά, έτσι έγινε και η νέα θεωρία που γεννήθηκε, η θεωρία της ειδικής σχετικότητας, ερμήνευσε όλα τα έως τότε πειραματικά δεδομένα και πέρασε με επιτυχία όλα τα τεστ από τότε έως σήμερα.



## Τα χρονικά διαστήματα διαστέλλονται

Ο Αϊνστάιν δέχθηκε ως σωστές τις δύο παραπάνω παραδοχές (αρχή της σχετικότητας και σταθερότητα της ταχύτητας του φωτός) και αναζήτησε πώς θα έπρεπε να μεταβάλεται η μέτρηση του μήκους και του χρόνου μεταξύ δύο αδρανειακών παρατηρητών ώστε να ισχύουν αυτές οι παραδοχές. Φυσικά στηρίχθηκε σε εργασίες προγενέστερων, όπως του Λόρεντζ, και προϋπάρχουσες μαθηματικές διαδικασίες.

Τα βασικά σημεία στα οποία κατέληξε είναι τα εξής:

Τα χρονικά διαστήματα διαστέλλονται.

Έστω πως στεκόμαστε ακίνητοι μπροστά σε ένα ρολόι εκκρεμές (στο δικό μας σύστημα αναφοράς το ρολόι είναι ακίνητο) και μετράμε πως κάθε πλήρης ταλάντωσή του διαρκεί για εμάς δύο δευτερόλεπτα.

Έστω τώρα ένας άλλος αδρανειακός παρατηρητής που κινείται με μεγάλη ταχύτητα ως προς εμάς. Στο δικό του σύστημα αναφοράς το ρολόι κινείται. Καθώς θα κοιτά το ρολόι μας θα διαπιστώνει πως το εκκρεμές χρειάζεται περισσότερο χρόνο από δύο δευτερόλεπτα για να κάνει μία ταλάντωση. Θα μετράει περισσότερο χρόνο για όλα τα φαινόμενα που συμβαίνουν στο δικό μας σύστημα αναφοράς, όπως τους κτύπους της καρδιάς μας, το ανοιγοκλείσιμο των ματιών μας κ.λπ. Θα συμβαίνει αυτό με οποιαδήποτε ρολόγια και αν μετράμε τον χρόνο εμείς και αυτός, αρκεί να λειτουργούν σωστά.

Βέβαια για να γίνει η διαφορά των χρονικών διαστημάτων που μετράμε αισθητή πρέπει να γίνει η σχετική μας ταχύτητα πολύ μεγάλη. Για παράδειγμα, αν η σχετική μας ταχύτητα είναι  $300.000\text{m/s}$  (δηλαδή το  $1/1000$  της ταχύτητας του φωτός στο κενό) η διαφορά των χρονικών διαστημάτων, ως ποσοστό, είναι περίπου  $0,00005\%$ , δηλαδή αμελητέα για τις περισσότερες εφαρμογές.

Όταν η σχετική ταχύτητα πλησιάζει σε αυτή του φωτός στο κενό, τότε η διαφορά στα χρονικά διαστήματα γίνεται πολύ σημαντική. Για παράδειγμα, αν σχετική μας ταχύτητα γίνει  $259807621\text{m/s}$  περίπου, τότε το χρονικό διάστημα για μία ταλάντωση του εκκρεμούς που θα μετρά ο κινούμενος ως προς το ρολόι παρατηρητής θα γίνει τέσσερα δευτερόλεπτα, δηλαδή διπλάσιο από αυτό που μετρά ο ακίνητος ως προς το ρολόι παρατηρητής.

Αν η σχετική ταχύτητα τείνει στην ταχύτητα του φωτός, τότε ο κινούμενος ως προς το ρολόι παρατηρητής βλέπει τους δείκτες ακίνητους. Όλα τα φαινόμενα στο δικό μας σύστημα αναφοράς «παγώνουν» σύμφωνα με τον παρατηρητή που κινείται ως προς εμάς. Ο χρόνος παύει να «κυλά» σύμφωνα με αυτόν.

### Ψηφιακή δραστηριότητα:



Ο παρακάτω σύνδεσμος θα σε οδηγήσει σε μία προσομοίωση για τη διαστολή του χρόνου. Αξιοποίησέ την για να απαντήσεις σε τρία ερωτήματα.



[https://javalab.org/en/special\\_relativity\\_en/](https://javalab.org/en/special_relativity_en/)



1. Όταν η σχετική ταχύτητα των δύο αδρανειακών παρατηρητών είναι  $0,5c$ , όπου  $c$  η ταχύτητα του φωτός στο κενό, πόσο είναι το ποσοστό διαστολής του χρόνου;

.....

.....

2. Για πόση σχετική ταχύτητα των δύο αδρανειακών παρατηρητών ο χρόνος διπλασιάζεται (ποσοστό μεταβολής 100%); .....
3. Πώς συνδέεται η διαστολή του χρόνου με το γεγονός πως οι δύο αδρανειακοί παρατηρητές μετρούν ίσες ταχύτητες για το φως; .....



## Τα μήκη στη διεύθυνση κίνησης δύο αδρανειακών παρατηρητών συστέλλονται

Έχουμε και πάλι αδρανειακούς παρατηρητές σε σχετική κίνηση. Ας σκεφτούμε τώρα πως εμείς στεκόμαστε ακίνητοι στη μέση ενός γηπέδου ποδοσφαίρου (στο δικό μας σύστημα αναφοράς το γήπεδο είναι ακίνητο) και μετράμε το μήκος και το πλάτος του γηπέδου. Το βρίσκουμε 105m μήκος και 68m πλάτος. Η μέτρηση μπορεί να γίνει με μία μετροταινία που απλώσαμε ή με μια συσκευή laser ή με όποια άλλη μέθοδο υπάρχει.

Έστω τώρα ένας άλλος αδρανειακός παρατηρητής που κινείται με μεγάλη ταχύτητα ως προς εμάς στη διεύθυνση του μήκους του γηπέδου. Στο δικό του σύστημα αναφοράς το γήπεδο κινείται. Αν και αυτός μετρήσει τις διαστάσεις του γηπέδου (με οποιαδήποτε μέθοδο), θα μετρήσει το ίδιο πλάτος με εμάς και μικρότερο μήκος. Θα μετρά δηλαδή όλες τις διαστάσεις των αντικειμένων που είναι ακίνητα στο δικό μας σύστημα αναφοράς κατά τη διεύθυνση της σχετικής μας κίνησης μικρότερες από ότι εμείς.

Αυτό το φαινόμενο είναι γνωστό ως συστολή μήκους και έχει επαληθευτεί πειραματικά.

### Νοητική δραστηριότητα:



Πώς θα μετρήσεις τις διαστάσεις ενός γηπέδου ποδοσφαίρου που είναι ακίνητο στο σύστημα αναφοράς του άλλου παρατηρητή;



Θα μετρήσω όλες τις διαστάσεις του μικρότερες σε σχέση με τις τιμές που μετρά ο άλλος παρατηρητής.

Θα μετρήσω μικρότερη τη διάσταση που είναι παράλληλη στη διεύθυνση της σχετικής μας κίνησης και ίσες τις κάθετες στη διεύθυνση της σχετικής μας κίνησης.

Θα μετρήσω μεγαλύτερη τη διάσταση που είναι παράλληλη στη διεύθυνση της σχετικής μας κίνησης και ίσες τις κάθετες στη διεύθυνση της σχετικής μας κίνησης.

A

B

Γ



Ποια απάντηση διαλέγεις τώρα; Την A, τη B ή τη Γ;



## Η ειδική θεωρία της σχετικότητας

Σωστή απάντηση είναι η δεύτερη. Όπως για αυτόν τα αντικείμενα που είναι ακίνητα στο δικό μας σύστημα αναφοράς μετρούνται με μικρότερο μήκος, έτσι και για εμάς τα αντικείμενα που είναι ακίνητα στο δικό του σύστημα αναφοράς μετρούνται με μικρότερο μήκος.

Το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να κατανοηθεί, αν φέρουμε στο μυαλό μας τι συμβαίνει όταν κοιτάμε τη μακέτα ενός γηπέδου ποδοσφαίρου από διαφορετικές γωνίες. Όταν την κοιτάμε υπό γωνία, τα μήκη μοιάζουν να μικραίνουν!

Πράγματι η σχετική κίνηση δύο παρατηρητών κάνει τον καθένα να βλέπει τον χώρο του άλλου σαν να έχει στραφεί και για αυτό να συστέλλεται!

## Χωρόχρονος

Αυτή η ιδέα της περιστροφής του συστήματος αναφοράς οδήγησε στο να δοθεί μία γεωμετρική ερμηνεία στη διαστολή του χρόνου και στη συστολή του μήκους. Όπως θα έλεγε κάποιος που ξέρει περισσότερα μαθηματικά από αυτά που γνωρίζετε στην τάξη σας, οι μετασχηματισμοί μήκους και χρόνου είναι μετασχηματισμοί στροφής. Δηλαδή, για να υπολογιστούν τα μήκη και τα χρονικά διαστήματα, ακολουθούμε την ίδια μαθηματική διαδικασία που θα εφαρμόζαμε για να βρούμε πώς συνδέονται οι συντεταγμένες του ίδιου σημείου ενός επιπέδου σε δύο διαφορετικά συστήματα ορθογωνίων αξόνων  $\chi, \psi$  που έχουν ίδια αρχή και διαφορετικό προσανατολισμό.

Η μεγάλη διαφορά είναι πως για να ερμηνευθεί η συστολή του μήκους και η διαστολή του χρόνου πρέπει να φανταστούμε δύο συστήματα αναφοράς που το καθένα αποτελείται από τέσσερις ορθογώνιους άξονες, τρεις για τον χώρο και έναν για τον χρόνο. Αυτό ξεπερνά την αντίληψή μας, αλλά στα μαθηματικά τέτοιοι χώροι μελετώνται. Μάλιστα μελετώνται χώροι και με περισσότερους από τέσσερις άξονες που λέγονται και διαστάσεις.

Η σχετικότητα λοιπόν ένωσε τον χώρο και τον χρόνο σε ένα αδιατάρακτο συνεχές που ονομάζεται χωρόχρονος και είναι ένας χώρος τεσσάρων διαστάσεων.

Στον τετραδιάστατο αυτόν χώρο μπορούμε να ορίσουμε τετραδιανύσματα και τότε όλα τα προηγούμενα φαινόμενα για την ταχύτητα της σφαίρας, την ταχύτητα του φωτός, τη διαστολή του χρόνου και τη συστολή του μήκους βρίσκουν μια ενιαία μαθηματική ερμηνεία, η οποία μάλιστα έχει επαληθευτεί απόλυτα από πληθώρα πειραμάτων.

### Μπορεί κάτι να κινείται πιο γρήγορα από το φως στο κενό;

Η συστολή του μήκους και η διαστολή του χρόνου έχουν κάποιο όριο. Συγκεκριμένα, το όριο της διαστολής του χρόνου είναι να μην κυλά ο χρόνος και της συστολής του μήκους να μην υπάρχει μήκος. Τα δύο αυτά όρια επιτυγχάνονται όταν η σχετική ταχύτητα δύο αδρανειακών παρατηρητών γίνει ίση με του φωτός στο κενό.

Έτσι, ένα από τα συμπεράσματα της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας είναι πως τίποτα δεν μπορεί να κινηθεί με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτήν του φωτός στο κενό. Αυτή η τιμή δεν είναι μόνο μία ταχύτητα, αλλά αποτελεί μία παγκόσμια σταθερά, έναν νέο νόμο της Φυσικής.

## Η γενική θεωρία της σχετικότητας – Το ασανσέρ του Αϊνστάιν

### Νοητική δραστηριότητα:



Ας σκεφτούμε ένα επανδρωμένο διαστημόπλοιο έτοιμο για εκτόξευση επάνω στη Γη. Οι αστροναύτες βρίσκονται στον χώρο ενδιαίτησης, περπατούν επάνω στο πάτωμα διότι δέχονται τριβή από αυτό, κάθονται στις καρέκλες που είναι εκεί, τρώνε από τα πιάτα πάνω στο τραπέζι και πίνουν νερό, όπως όλοι μας από το ποτήρι. Όλα αυτά συμβαίνουν διότι το διαστημόπλοιο και όσα περιέχει βρίσκονται μέσα στο βαρυτικό πεδίο της Γης, δηλαδή έχουν βάρος. Το βάρος τους ισούται με το γινόμενο της μάζας τους επί την επιτάχυνση της βαρύτητας.

Ένας πύραυλος κινεί το διαστημόπλοιο και μετά από αρκετές μανούβρες βρίσκεται μακριά από τη Γη, έξω από άλλα βαρυτικά πεδία και κινείται ευθύγραμμα και ομαλά.



Εικόνα 4.3.9: Μέσα σε διαστημόπλοιο υπάρχουν πιάτα και ποτήρια γεμάτα πάνω στο τραπέζι.

Γνωρίζεις τι θα ισχύει τώρα στον χώρο ενδιαίτησης του διαστημοπλοίου; Θα είναι κάτι σαν την εικόνα 4.3.9;



.....  
 .....  
 .....  
 .....



Δεν θα υπάρχει .....! Οι αστροναύτες θα ..... από σωληνάκια, θα ..... νερό από σακουλάκια και όλα αυτά αιωρούμενοι, γιατί ούτε αυτοί θα μπορούν να ..... σε καρέκλα (ή να περπατούν) ούτε το ..... θα μένει μέσα στα πιάτα, ούτε τα ..... στο τραπέζι, ούτε το ..... στο ποτήρι, γιατί όλα αυτά προκαλούνται από τη βαρύτητα.

**Συνέχεια νοητικής δραστηριότητας:**



**Ο πύραυλος αρχίζει πάλι να λειτουργεί και προσδίδει στο διαστημόπλοιο επιτάχυνση ίση με αυτή της γήινης βαρύτητας με κατεύθυνση από την οροφή προς το πάτωμα του χώρου ενδιαίτησης. Τι πιστεύεις πως θα συμβεί τώρα;**

Θα ισχύει ό,τι ίσχυε και πριν, δηλαδή πάλι θα τρώνε από σωληνάκια, θα πίνουν νερό από σακουλάκια και όλα θα αιωρούνται, γιατί βρίσκονται έξω από κάθε πεδίο βαρύτητας.

A

Λόγω της επιτάχυνσης οι αστροναύτες θα δέχονται δύναμη από το πάτωμα και επομένως θα στέκονται και θα περπατάνε επάνω σε αυτό. Ομοίως το τραπέζι θα άψει να αιωρείται, τα πιάτα θα μένουν επάνω του, το φαγητό στα πιάτα, το νερό θα μένει μέσα στα ποτήρια κ.λπ., δηλαδή θα είναι σαν να υπάρχει βαρύτητα.

B



Ποια από τις δύο απαντήσεις θα διάλεγες και γιατί;

.....  
 .....



Η σωστή απάντηση είναι η .....



**Η καμπύλωση του χωροχρόνου**

Η κατάσταση που επικρατεί μέσα στο διαστημόπλοιο είναι ακριβώς η ίδια είτε αυτό ηρεμεί εντός βαρυτικού πεδίου που έχει κάποια ένταση είτε επιταχύνεται εκτός βαρυτικού πεδίου με σταθερή επιτάχυνση ίση με τη βαρυτική ένταση - επιτάχυνση.

Θα μπορούσαμε να αναρωτηθούμε: Υπάρχει πείραμα το οποίο να μπορεί να γίνει μέσα στο διαστημόπλοιο και να διευκρινίσει τι από τα δύο συμβαίνει;

Η απάντηση είναι όχι! Οι παρατηρητές που επιταχύνονται με κάποια επιτάχυνση είναι ισοδύναμοι με αυτούς που

βρίσκονται σε βαρυτικό πεδίο, ίδιας έντασης με την επιτάχυνση.

Αυτές τις σκέψεις του, για την ισοδυναμία επιτάχυνσης και βαρύτητας, ανέπτυξε ο Αϊνστάιν τον Νοέμβριο του 1915, σε μία σειρά διαλέξεων, ενώπιον της Πρωσικής Ακαδημίας Επιστημών.

Μάλιστα, στο τέλος των διαλέξεων παρουσίασε μία νέα θεωρία για τη βαρύτητα που αντικαθιστούσε τον γνωστό νόμο του Νεύτωνα. Στη νέα προσέγγιση αυτό που παρατηρούμε ως βαρύτητα δεν προκύπτει από την έλξη δύο μαζών, αλλά από την καμπύλωση του τετραδιάστατου χωροχρόνου (που αναφέραμε νωρίτερα) που προκαλείται από την ύπαρξη μάζας (ή ενέργειας) σε αυτόν.

Η νέα θεωρία πρακτικά έδινε τα ίδια αποτελέσματα με αυτά του νόμου του Νεύτωνα για ασθενή βαρυτικά πεδία, όπως αυτά που υπάρχουν στο ηλιακό μας σύστημα, οπότε κανένα από τα σημαντικά επιτεύγματα του νόμου του Νεύτωνα δεν αμφισβητήθηκε. Ακόμα και σήμερα, οι διαστημικές αποστολές σχεδιάζονται βάσει του νόμου του Νεύτωνα. Αισθητές διαφορές προκύπτουν όταν μελετώνται πολύ ισχυρά βαρυτικά πεδία ή η αλληλεπίδραση του φωτός με ισχυρά βαρυτικά πεδία.

Η γενική θεωρία της σχετικότητας προβλέπει πως και το φως «πέφτει». Συγκεκριμένα, πως όταν το φως διαδίδεται σε ένα βαρυτικό πεδίο η τροχιά του, όπως την παρατηρούμε στον τρισδιάστατό μας κόσμο, κάμπτεται προς την κατεύθυνση του βαρυτικού πεδίου.



Η καμπύλωση της τροχιάς του φωτός

## Κοσμολογία

### Βιβλιογραφική δραστηριότητα:



Ήταν πάντα η Γη μας όπως είναι σήμερα;



**Ψάξε πληροφορίες** για το παρελθόν της Γης και παρουσιάσέ τες στην τάξη.

Μετά συζήτησε με τους συμμαθητές/τριές σου ποιες είναι οι πιθανές απαντήσεις στα παρακάτω ερωτήματα:

- Πόσο μεγάλο είναι το σύμπαν;
- Πόσοι αστέρες και γαλαξίες υπάρχουν;
- Υπήρχε πάντα το σύμπαν;
- Ήταν στο παρελθόν το σύμπαν όπως είναι σήμερα;
- Θα υπάρχει για πάντα ο Ήλιος και η Γη;
- Τι δείχνει η διπλανή φωτογραφία;



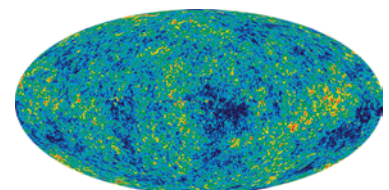
.....

.....

.....



Εικόνα 4.3.10: Η Παγγαία.



Εικόνα 4.3.11: Ακτινοβολία υποβάθρου.

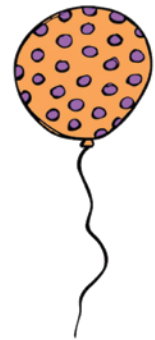
Έχει αρχή το σύμπαν; Η διερεύνηση θα γίνει μέσα από τρεις μεγάλες επιστημονικές ανακαλύψεις, έναν γνωστό νόμο της Φυσικής και ένα γνωστό «παράδοξο».

**Πρακτική δραστηριότητα:**



Τι συμβαίνει όταν φουσκώνεις ένα μπαλόνι που πάνω του έχεις κολλήσει χαρτάκια με ζωγραφισμένους γαλαξίες;

.....  
 .....



Εικόνα 4.3.12: Μπαλόνι με χαρτάκια.



Πάρε ένα μπαλόνι και κόλλησε πάνω του χαρτάκια. Κάθε χαρτάκι αναπαριστά έναν γαλαξία.

Φούσκωσε το μπαλόνι. Τι συνέβη με την απόσταση μεταξύ των χαρτιών;



.....  
 .....

**Πρακτική δραστηριότητα:**



Ο Edwin Hubble (Έντγουιν Χαμπλ), ένας από τους σημαντικότερους Αμερικανούς αστρονόμους του εικοστού αιώνα, κάνοντας παρατηρήσεις από το αστεροσκοπείο του όρους Wilson της Καλιφόρνια, ανακάλυψε το 1929 έναν νόμο για την κίνηση των γαλαξιών. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται απλοποιημένες μετρήσεις, παρόμοιες με αυτές που έκανε ο Hubble.

Πίνακας 4.3.1		
α/α	Απόσταση του γαλαξία από εμάς, σε Μpc	Ταχύτητα απομάκρυνσης του γαλαξία από εμάς σε Km/s
1	1	72
2	2	145
3	5	362
4	10	724

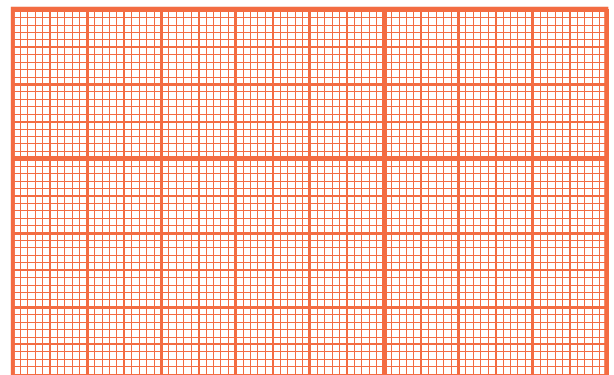


Κάνε τη γραφική παράσταση της ταχύτητας απομάκρυνσης κάθε γαλαξία από εμάς σε συνάρτηση με την απόστασή του από εμάς.



Ποιο συμπέρασμα προκύπτει για τη σχέση αυτών των δύο μεγεθών;

.....  
 .....  
 .....  
 .....





## Ο νόμος του Hubble

Όλοι οι γαλαξίες απομακρύνονται μεταξύ τους με ταχύτητα απομάκρυνσης που είναι ανάλογη της απόστασής τους. Το συμπέρασμα αυτό το κατανοούμε όχι ως κίνηση των γαλαξιών μέσα στον χώρο που τους περιέχει, αλλά ως διαστολή του ίδιου του χώρου εντός του οποίου υπάρχουν οι γαλαξίες.

Μια πετυχημένη, διδιάστατη αναλογία για το φαινόμενο αυτό είναι ένα μπαλόνι που έχουμε κολλήσει επάνω του χαρτάκια και το φουσκώνουμε. Καθώς φουσκώνει και μεγαλώνει, τα χαρτάκια απομακρύνονται μεταξύ τους, εξαιτίας της διαστολής της επιφάνειας του μπαλονιού και όχι εξαιτίας μιας δικής τους κίνησης. Επίσης, η διαστολή αυτή γίνεται με τον ίδιο τρόπο σε όλο τον χώρο χωρίς να έχει κάποιο κέντρο από το οποίο ξεκινά.

Βέβαια η διαστολή του σύμπαντος είναι η διαστολή ενός χώρου τριών διαστάσεων, ενώ η επιφάνεια του μπαλονιού (του παραδείγματος) είναι ένας χώρος δύο διαστάσεων.

Το σημαντικότερο μέγεθος αυτού του φαινομένου είναι η σταθερά αναλογίας ανάμεσα στην ταχύτητα απομάκρυνσης δύο γαλαξιών και στην απόστασή τους. Η σταθερά αυτή ονομάζεται σταθερά του Hubble, συμβολίζεται με  $H$  και το αντίστροφό της είναι μία προσέγγιση της ηλικίας του σύμπαντος.

## Η ανακάλυψη της μικροκυματικής ακτινοβολίας υποβάθρου

Τριάντα έξι χρόνια αργότερα από τον νόμο του Hubble έγινε μία ακόμα συνταρακτική ανακάλυψη.

Για να την κατανοήσεις θα πρέπει πρώτα να γνωρίζεις πως σύμφωνα με τους νόμους για την αλληλεπίδραση ύλης και ακτινοβολίας, το πρώιμο σύμπαν αποτελούνταν από ύλη και ακτινοβολία, η οποία συνεχώς δεσμευόταν από την ύλη και εκπεμπούταν ξανά από αυτήν. Κάποια στιγμή η θερμοκρασία μειώθηκε και η ακτινοβολία απελευθερώθηκε από την ύλη. Σήμερα εκτιμάμε πως αυτό συνέβη περίπου 380.000 έτη μετά τη μεγάλη έκρηξη. Έκτοτε αυτή η ακτινοβολία υπάρχει χωρίς να έχει αλληλεπιδράσει ξανά με την ύλη. Βέβαια, καθώς το σύμπαν διαστελλόταν, μεγάλωναν και τα δικά της μήκη κύματος, ώστε σήμερα να αντιστοιχεί – το κυριότερο μέρος της – στην περιοχή των μικροκυμάτων και να την ανιχνεύουν τα ραδιοτηλεσκόπια και άλλοι ειδικοί ανιχνευτές. Οι θεωρητικοί φυσικοί την ονομάζουν μικροκυματική ακτινοβολία υποβάθρου.

Αυτήν την ακτινοβολία παρατήρησαν το 1965, από τύχη, δύο ραδιοαστρονόμοι, οι Penzias και Wilson. Για την ανακάλυψη αυτή τους απονεμήθηκε το βραβείο Νόμπελ Φυσικής 1978. Μετά την πρώτη παρατήρηση, η ακτινοβολία αυτή μελετήθηκε και καταγράφηκε λεπτομερώς από τις δορυφορικές αποστολές COBE, WMAP και Planck και το αποτέλεσμα της καταγραφής της αποτελεί μία εικόνα (περίπου μία φωτογραφία) του σύμπαντος τη στιγμή της αποσύνδεσης ύλης και ακτινοβολίας. Η λεπτομερής καταγραφή της επέτρεψε να γίνουν ακριβείς υπολογισμοί και επαληθεύσεις για την εξέλιξη του σύμπαντος από τότε έως σήμερα, αλλά και μόνο η ανακάλυψη της ύπαρξης αυτής της ακτινοβολίας αποτελεί ισχυρότατο επιχείρημα για ένα σύμπαν που είχε πολύ υψηλή θερμοκρασία και διαρκώς μεγαλώνει και ψύχεται.

## Η αφθονία ελαφρών στοιχείων στο σύμπαν

Οι υπολογισμοί μας, σύμφωνα με τους γνωστούς και επιβεβαιωμένους νόμους της Φυσικής, δίνουν πως αν το σύμπαν προέκυψε πράγματι από μία μεγάλη έκρηξη και επομένως είχε μία θερμή αρχή, τότε θα πρέπει να αποτελείται κυρίως από ελαφρά στοιχεία και συγκεκριμένα από περίπου 75% υδρογόνο και 24% ήλιο.

Αυτή η πρόγνωση επαληθεύεται πλήρως από τις παρατηρήσεις μας!

## Ο 2ος θερμοδυναμικός νόμος

Μία από τις σημαντικότερες προτάσεις της Φυσικής είναι πως κάθε προηγούμενη κατάσταση του σύμπαντος έχει καλύτερη οργάνωση από την επόμενη.

## Το παράδοξο του Olbers

Εάν το σύμπαν είναι άπειρο (σε διαστάσεις και ηλικία), τότε σε οποιαδήποτε κατεύθυνση και αν κοιτάξουμε θα φτάνει στο μάτι μας το φως κάποιου αστεριού, διότι θα υπάρχει ένα αστερί και το φως του θα έχει τον χρόνο να διαδοθεί ως το μάτι μας. Δηλαδή, θα έπρεπε να είναι όλος ο ουρανός φωτεινός.

Έχουμε λοιπόν, τη λύση των εξισώσεων της γενικής σχετικότητας που οδηγούν σε σύμπαν που ξεκινά με μια μεγάλη έκρηξη, τον δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής, την ερμηνεία του παράδοξου Olbers και τις τρεις ανακαλύψεις που προαναφέραμε.



**Χρησιμοποίησε** όλα τα παραπάνω δεδομένα και γράψε μια μικρή εργασία για να εξηγήσεις αν κατά την άποψή σου το σύμπαν έχει αρχή.

.....

.....

.....

Ποια είναι η άποψή σου, αν σωστά ή όχι, η επικρατέστερη θεωρία για την εξέλιξη του σύμπαντος σήμερα είναι η θεωρία της μεγάλης έκρηξης.

.....

.....

.....



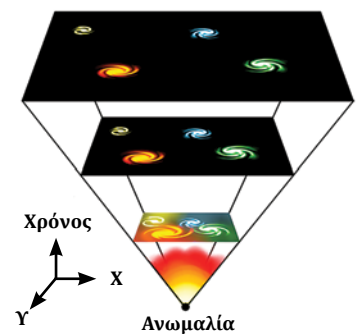
## Διεπιστημονικές – Διαθεματικές Εφαρμογές της Θεωρίας, Γενίκευση, Εμπέδωση, Ερμηνείες με τον μικρόκοσμο

### 1. Η θεωρία της μεγάλης έκρηξης και η σχετικότητα.

Σύμφωνα με τη σχετικότητα, ο χώρος δεν νοείται χωρίς την ύπαρξη ύλης. Άρα με τη μεγάλη έκρηξη δημιουργούνται ταυτόχρονα η ύλη και ο χώρος. Το υλικό «σημείο» από το οποίο προήλθαν τα πάντα και το οποίο το ονομάζουμε «μοναδικότητα» ή «ανωμαλία» δεν βρισκόταν μέσα σε «κάτι». Δεν ήταν μια οντότητα που περιβαλλόταν από κενό χώρο. Το ίδιο το υλικό αυτό «σημείο» γέννησε τον χώρο (ακόμα και τον κενό χώρο).

Επίσης, σύμφωνα με τη σχετικότητα, ο χώρος και ο χρόνος είναι αλληλένδετα. Επομένως δεν υπάρχει ούτε χρόνος πριν από τη μεγάλη έκρηξη. Η «μοναδικότητα» δεν είναι κάτι που υπήρχε επ' άπειρο ή πεπερασμένο χρόνο και περίμενε τη μεγάλη έκρηξη. Εμφανίζεται στιγμιαία «εκ του μηδενός» και αμέσως αρχίζει να διαστέλλεται. Και αυτό γιατί απλούστατα δεν υπήρχε «πριν», επειδή και ο ίδιος ο χρόνος εμφανίστηκε μαζί με τον χώρο!

Γενικά ερωτήσεις του είδους «τι υπήρχε πριν τη μεγάλη έκρηξη;» στερούνται φυσικού νοήματος.



Εικόνα 4.3.13: Η εξέλιξη του σύμπαντος.

### 2. Σκοτεινή ύλη

Από τη δεκαετία του '30 είχε αρχίσει να διαφαίνεται πως οι γαλαξίες και τα γαλαξιακά σμήνη περιέχουν περισσότερη μάζα από αυτή που αντιστοιχεί στο φως που εκπέμπουν. Το συμπέρασμα αυτό επιβεβαιώθηκε και με άλλες μεθόδους ώστε σήμερα να έχουμε ισχυρότατες πειραματικές επαληθεύσεις για την ύπαρξη μάζας που δεν αλληλεπιδρά με το φως (και τις άλλες ακτινοβολίες). Η μάζα αυτή αντιστοιχεί σε ύλη που δεν ακτινοβολεί, δεν φωτίζει (ούτε απορροφά το φως) και για αυτό ονομάζεται σκοτεινή ύλη.

Η φύση της σκοτεινής ύλης ακόμα ερευνάται. Έχουν γίνει πολλές πιθανές υποθέσεις και διεξάγονται εντυπωσιακά πειράματα για τον έλεγχο των υποθέσεων, αλλά δεν έχει προκύψει ακόμα ασφαλές συμπέρασμα. Το πιθανότερο είναι να αποτελείται από σωματίδια που δεν έχουν σχετικιστικές ταχύτητες, γι' αυτό και φαίνεται να είναι «κρύα» (cold dark matter). Η έρευνα για τη σύστασή της συνεχίζεται.

Η έρευνα έχει ήδη δείξει πως, από ό,τι και αν αποτελείται, είναι περίπου πενταπλάσια από την ύλη που γνωρίζουμε, αυτήν από την οποία είμαστε φτιαγμένοι και εμείς.

Αν σκεφτούμε λίγο παραπάνω το συμπέρασμα αυτό, βλέπουμε τη νίκη της άποψης του Κοπέρνικου. Ο Κοπέρνικος μας έδειξε πως η Γη μας δεν είναι το κέντρο του σύμπαντος και οι σύγχρονοι ερευνητές αποδεικνύουν πως δεν είμαστε φτιαγμένοι από την ύλη που αποτελεί την πλειοψηφία στο σύμπαν!

### 3. Σκοτεινή ενέργεια

Επί πολλά χρόνια οι επιστήμονες δέχονταν πως το σύμπαν διαστέλλεται με ρυθμό που διαρκώς μειώνεται. Για παράδειγμα, αν σκεφτούμε ένα βεγγαλικό που σκάει σε ορισμένο ύψος, τα κομμάτια του ανεβαίνουν προς τα επάνω, επιβραδύνονται και σταματούν. Αυτό οφείλεται στο βαρυτικό πεδίο της Γης που τα έλκει προς τη Γη.

Ομοίως το σύμπαν είναι σαν τα κομμάτια του βεγγαλικού. Η διαφορά είναι πως κάθε κομμάτι θα έπρεπε να επιβραδύνεται από το βαρυτικό πεδίο του υπόλοιπου σύμπαντος.

Το 1998 δύο ανεξάρτητες ομάδες αστρονόμων που ερευνούσαν μακρινούς σούπερ νόβα, προσδοκώντας να μετρήσουν τον ρυθμό ελάττωσης της διαστολής του σύμπαντος, διαπίστωσαν ότι η διαστολή του σύμπαντος επιταχύνεται!

Η ανακάλυψη αυτή οδήγησε στο να τους απονεμηθεί το βραβείο Νόμπελ Φυσικής 2011.

Το συμπέρασμα αυτό μπορεί να ερμηνευτεί μόνο αν δεχθούμε πως μία απωστική δύναμη σπρώχνει τα κομμάτια του σύμπαντος ώστε να απομακρύνονται.

Μία τέτοια δύναμη περιεχόταν στην αρχική διατύπωση της γενικής θεωρίας της σχετικότητας, μέσω μιας κοσμολογικής σταθεράς  $\Lambda$ , αλλά εγκαταλείφθηκε αργότερα.

Αυτή η δύναμη που επιταχύνει τη διαστολή του σύμπαντος του αυξάνει την ενέργεια. Επειδή ακόμα δεν κατανοούμε την προέλευση της συγκεκριμένης ενέργειας, την ονομάζουμε «σκοτεινή» ενέργεια, όχι με την έννοια του κακού, του σκότους, αλλά του αγνώστου.

Το σημερινό πρότυπο μοντέλο του σύμπαντος δέχεται τη μεγάλη έκρηξη και αποδέχεται την ύπαρξη κρύας σκοτεινής ύλης και σκοτεινής ενέργειας και έχει ονομαστεί μοντέλο  $\Lambda$ -CDM ( $\Lambda$ : η κοσμολογική σταθερά και CDM: Cold dark matter).

ΤΟ ΣΗΜΕΡΙΝΟ ΣΥΜΠΑΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ $\Lambda$ -CDM (ΠΗΓΗ ESA)	
Παράμετρος	Τιμή (περίπου)
Ηλικία του Σύμπαντος	13,8 Δισεκατομμύρια έτη
Μέση θερμοκρασία υποβάθρου μικροκυμάτων	2,7 K (-270 °C)
Σταθερά του Hubble ( $\text{km/s}/\text{Mpc}$ )	70 ( $\text{km/s}/\text{Mpc}$ )
Ποσοστό βαρυονίων (γνωστής ύλης)	5%
Ποσοστό σκοτεινής ύλης	27%
Ποσοστό σκοτεινής ενέργειας	68%

**Βέβαια όλα τα παραπάνω δεν αποτελούν μία τελική και αδιαμφισβήτητη «αλήθεια».**

Η επιστημονική γνώση διαρκώς αμφισβητείται, επανεξετάζεται, αναθεωρείται και αρκετά συχνά ανατρέπεται. Μάλιστα, την περίοδο που γράφονται αυτές οι γραμμές, οι παρατηρήσεις του διαστημικού τηλεσκοπίου James Webb αποκαλύπτουν γεγονότα που οδηγούν σε επανέλεγχο των αντιλήψεων που έως τώρα κυριαρχούν.

Το ταξίδι - της γνώσης - στο σύμπαν συνεχίζεται....



### Ερωτήσεις

1. Έλεγξε τις γνώσεις σου στον σύνδεσμο.



2. Έλεγξε τις γνώσεις σου στον σύνδεσμο.



3. Τι μετρά η τέταρτη διάσταση του χωροχρόνου;

4. Πόσο διαφέρουν οι μετρήσεις του χρόνου για διάφορα συμβάντα σε ένα σύστημα αναφοράς που κινείται με ταχύτητα κοντά σε αυτήν του φωτός, σε σχέση με τις μετρήσεις σε ένα ακίνητο σύστημα αναφοράς;

5. Όταν σε πλησιάζει μια φωτεινή πηγή, το φως της έρχεται προς εσένα με ταχύτητα .....

Ποια από τις προτάσεις είναι σωστή;

i. Μεγαλύτερη από 300.000km/s

ii. Ίση με 300.000km/s

iii. Μικρότερη από 300.000km/s

6. Το μήκος ενός χάρακα 1m που κινείται με ταχύτητα κοντά σε αυτήν του φωτός, φαίνεται μικρότερο, μεγαλύτερο ή ίσο με 1m.

2. Βαδίζεις με 6 km/h πάνω σε μια πλατφόρμα που κινείται σε ράγες με 20 km/h, στην αντίθετη κατεύθυνση. Ποια είναι η ταχύτητά σου ως προς έναν παρατηρητή στο έδαφος;

3. Στέκεσαι πάνω σε μια πλατφόρμα που κινείται σε ράγες με 20 km/h και κρατάς στο χέρι έναν φακό. Ποια είναι η ταχύτητα του φωτός του φακού ως προς έναν παρατηρητή στο έδαφος; Η ταχύτητα του φωτός στο κενό (και σε καλή προσέγγιση στον αέρα) είναι 300.000km/s.

4. Είσαι σε αυτοκίνητο που κινείται με σταθερή ταχύτητα και κρατάς στο χέρι σου ένα ποτήρι νερό. Σε ποια περίπτωση κινδυνεύεις να βραχείς και γιατί;

### Προβλήματα

1. Οι γονείς του Φίλιππου, που είναι αστροναύτες, τον άφησαν για λίγο καιρό στους παππούδες του προκειμένου να ακολουθήσουν μια διαστημική αποστολή. Όταν γύρισαν, ο Φίλιππος φαινόταν να έχει μεγαλύτερη ηλικία από αυτούς. Πώς μπορεί να συνέβη κάτι τέτοιο;

2. Ο Φλας είναι ένας υπερήρωας κόμικς που μπορεί να τρέξει με ταχύτητες κοντά σε αυτήν του φωτός. Πόσο εύκολο είναι για τον Φλας να κλείσει ραντεβού με τους φίλους του;

3. Τα μίονια σχηματίζονται στην ανώτερη ατμόσφαιρα, καθώς η κοσμική ακτινοβολία αλληλεπιδρά με πυρήνες ατόμων. Η διάρκεια ζωής τους είναι περίπου δύο εκατομμυριοστά του δευτερολέπτου και τρέχουν με ταχύτητες κοντά σε αυτήν του φωτός. Σύμφωνα με την κλασική Φυσική ελάχιστα από αυτά θα έπρεπε να προλαβαίνουν να φτάσουν στην επιφάνεια της θάλασσας. Συμβαίνει όμως ακριβώς το αντίθετο. Τα μίονια που φτάνουν στην επιφάνεια της θάλασσας είναι αρκετά. Μπορείς να δώσεις μια εξήγηση;

### Ασκήσεις

1. Βαδίζεις με 6 km/h πάνω σε μια πλατφόρμα που κινείται σε ράγες με 20 km/h, στην ίδια κατεύθυνση. Ποια είναι η ταχύτητά σου ως προς έναν παρατηρητή στο έδαφος;

## Σύνοψη κεφαλαίου 4

- Τα πρωτόνια και τα νετρόνια ονομάζονται με μία λέξη **νουκλέονια**.
- Τα νουκλέονια συγκρατούνται σε πολύ μικρές μεταξύ τους αποστάσεις με τις ελκτικές **πυρηνικές δυνάμεις** και σχηματίζουν τους πυρήνες.
- **Πυρηνική σχάση** είναι η διάσπαση ενός πυρήνα σε μικρότερους και σταθερότερους πυρήνες. Η πυρηνική σχάση μπορεί να είναι αυθόρμητη ή να προκληθεί από τον βομβαρδισμό του πυρήνα με νετρόνια υψηλής ταχύτητας. Αν η μάζα του σχάσιμου υλικού είναι μεγαλύτερη από μια κρίσιμη, προκαλείται αλυσιδωτή αντίδραση.
- **Ραδιενέργεια** είναι η αυθόρμητη διάσπαση ορισμένων πυρήνων, η οποία συνοδεύεται από εκπομπή υψηλής ενέργειας ακτινοβολίας.
- **Πυρηνική σύντηξη** είναι η ένωση δύο ελαφρών πυρήνων για τη δημιουργία ενός μεγαλύτερου και σταθερότερου πυρήνα.
- Τόσο στη σχάση, όσο και στη σύντηξη, μέρος της μάζας των νουκλεονίων μετατρέπεται σε ενέργεια σύμφωνα με την ισοδυναμία μάζας-ενέργειας.
- Τα πρωτόνια και τα νετρόνια συνίστανται από άλλα μικρότερα σωματίδια, τα οποία ονομάζονται **κουάρκς**.
- Για κάθε σωματίδιο πρέπει να υπάρχει το αντισωματίδιό του. Έτσι προέκυψε η έννοια της **αντιύλης**. Τα σωματίδια της έχουν ίση μάζα και αντίθετο φορτίο με τα αντίστοιχα της ύλης.
- Κάθε αλληλεπίδραση πραγματοποιείται με την ανταλλαγή σωματιδίων ανάμεσα στα σώματα που αλληλεπιδρούν. Το σωματίδιο που ανταλλάσσεται λέγεται **φορέας της αλληλεπίδρασης**.
- Τα γνωστά σωματίδια φορείς αλληλεπιδράσεων είναι τα **Φωτόνιο, W, Z** και το **gluon (γκλουόνιο)**.
- Προβλέπεται και η ύπαρξη ενός σωματιδίου που μεταφέρει τη βαρυτική δύναμη, το οποίο ονομάζεται **graviton (βαρυτόνιο)** αλλά δεν έχει ακόμα παρατηρηθεί.
- Ένα τελευταίο διάσημο σωματίδιο είναι το **μποζόνιο Higgs** που πρόσφατα παρατηρήθηκε σε πειράματα στο CERN. Πρόκειται για το σωματίδιο του πεδίου που δίνει μάζα στα σωματίδια.
- Οι δύο βασικές παραδοχές της **θεωρίας της σχετικότητας** είναι:
  - Όλοι οι αδρανειακοί παρατηρητές που μελετούν το ίδιο φαινόμενο θα πρέπει να καταλήγουν στον ίδιο νόμο (ή νόμους).
  - Η ταχύτητα του φωτός στο κενό έχει την ίδια τιμή για όλους τους αδρανειακούς παρατηρητές.
- Αποτέλεσμα της σχετικότητας είναι **τα χρονικά διαστήματα να διαστέλλονται** και **τα μήκη στη διεύθυνση κίνησης δύο αδρανειακών παρατηρητών να συστέλλονται**.
- Σύμφωνα με τη σχετικότητα, ο **χώρος** και ο **χρόνος** είναι **αλληλένδετοι**.
- Όταν το φως διαδίδεται σε ένα βαρυτικό πεδίο η τροχιά του, όπως την παρατηρούμε στον τρισδιάστατό μας κόσμο, κάμπτεται προς την κατεύθυνση του βαρυτικού πεδίου.
- Όλοι οι γαλαξίες απομακρύνονται μεταξύ τους με ταχύτητα απομάκρυνσης που είναι ανάλογη της απόστασής τους. Το συμπέρασμα αυτό το κατανοούμε όχι ως κίνηση των γαλαξιών μέσα στον χώρο που τους περιέχει αλλά ως διαστολή του ίδιου του χώρου εντός του οποίου υπάρχουν οι γαλαξίες.
- Το σημερινό πρότυπο μοντέλο του σύμπαντος δέχεται τη μεγάλη έκρηξη και αποδέχεται την ύπαρξη κρύας σκοτεινής ύλης και σκοτεινής ενέργειας.



Έλεγξε τις γνώσεις σου λύνοντας σταυρόλεξο.

## A

**αγωγός:** Υλικό μέσα στο οποίο το ηλεκτρικό φορτίο μπορεί να κινηθεί.

**αδιαφανές υλικό:** Υλικό μέσα από το οποίο δεν περνά φως.  
**αδρανειακό σύστημα αναφοράς:** Μη επιταχυνόμενο σύστημα αναφοράς, στο οποίο ισχύουν οι νόμοι του Newton.

**αιθέρας:** Υποθετικό αόρατο μέσο που πίστευαν ότι ήταν απαραίτητο για τη διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

**ακτίνα:** Λεπτή δέσμη φωτός.

**ακτίνες X:** Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με συχνότητα μεγαλύτερη από την υπεριώδη.

**ακτινοβολία:** α) Ενέργεια που μεταβιβάζεται με ηλεκτρομαγνητικά κύματα, β) Σωματίδια που εκπέμπονται από ραδιενεργά ισότοπα.

**αλυσιδωτή αντίδραση:** Αυτοσυντηρούμενη πυρηνική αντίδραση που από τη στιγμή που θα ξεκινήσει παρέχει την ενέργεια και τα νετρόνια για να συνεχιστεί.

**αμπέρ (A):** Η μονάδα έντασης ηλεκτρικού ρεύματος στο S.I.

**αμπερόμετρο:** Συσκευή μέτρησης της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος.

**ανάκλαση:** Η επιστροφή μιας φωτεινής ακτίνας, που προσπίπτει σε μια επιφάνεια, στο μέσο από το οποίο προήλθε η ακτίνα.

**ανάλυση του φωτός:** Ο διαχωρισμός του φωτός σε χρώματα διατεταγμένα ανάλογα με τη συχνότητά τους.

**αντικατοπτρισμός:** Η εικόνα ενός αντικειμένου που εμφανίζεται λόγω της διάθλασης του φωτός στην ατμόσφαιρα της Γης.

**αντισωμάτιο:** Σωμάτιο με ίδια μάζα και αντίθετο φορτίο με το σωμάτιό του.

**αντιύλη:** ύλη που αποτελείται από τα αντισωμάτια της κανονικής ύλης.

**απόδοση ηλεκτρικής συσκευής:** Το πηλίκο της ωφέλιμης ισχύος προς την καταναλισκόμενη ισχύ.

**αρχή διατήρησης της ενέργειας:** Η ενέργεια μπορεί να μεταμορφωθεί από μια μορφή σε μία άλλη αλλά ποτέ δεν καταστρέφεται, ούτε δημιουργείται από το τίποτα.

**αρχή διατήρησης του φορτίου:** Το ηλεκτρικό φορτίο δε δημιουργείται ούτε καταστρέφεται. Μεταφέρεται όμως από ένα υλικό σε ένα άλλο.

**αρχή ελαχίστου χρόνου του Fermat:** Το φως διαδίδεται από ένα σημείο σε ένα άλλο ακολουθώντας τη συντομότερη, σε χρόνο, διαδρομή.

**ασφάλεια:** Στοιχείο ηλεκτρικού κυκλώματος του διακόπτει το κύκλωμα όταν η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος υπερβεί μια προκαθορισμένη τιμή.

## B

**βατ (W):** μονάδα ισχύος στο S.I.

**βολτ (V):** μονάδα διαφοράς δυναμικού στο S.I.

**βολτόμετρο:** όργανο μέτρησης διαφοράς δυναμικού.

**βραχυκύκλωμα:** διαταραχή σε ηλεκτρικό κύκλωμα που προκαλείται από την ελαχιστοποίηση της αντίστασης.

## Γ

**γείωση:** σύνδεση που επιτρέπει στο ηλεκτρικό φορτίο να κινείται προς τη Γη.

**γεννήτρια:** διάταξη που μεταμορφώνει την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική.

**γραμμές απορρόφησης:** οι σκοτεινές γραμμές που εμφανίζονται σε ένα φάσμα απορρόφησης.

**γραμμικό φάσμα:** διάταξη διακριτών έγχρωμων γραμμών που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες συχνότητες και εκπέμπονται από ένα διεγερμένο αέριο.

**γωνία ανάκλασης:** η γωνία που σχηματίζεται από μία ακτίνα που ανακλάται σε μία επιφάνεια και την κάθετο στην επιφάνεια στο σημείο πρόσπτωσης.

**γωνία διάθλασης:** η γωνία που σχηματίζεται από μια ακτίνα που διαθλάται στη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ δύο μέσων και την κάθετο στην επιφάνεια στο σημείο πρόσπτωσης.

**γωνία πρόσπτωσης:** η γωνία που σχηματίζεται από μία ακτίνα που προσπίπτει σε μία επιφάνεια και την κάθετο στην επιφάνεια στο σημείο πρόσπτωσης.

## Δ

**δείκτης διάθλασης υλικού:** Ο λόγος της ταχύτητας του φωτός στο κενό προς την ταχύτητά του στο υλικό.

**δευτέριο:** Ισότοπο του υδρογόνου, του οποίου ο πυρήνας έχει ένα πρωτόνιο και ένα νετρόνιο.

**διάθλαση:** Η εκτροπή που παθαίνει μια φωτεινή ακτίνα η οποία διαδίδεται μεταξύ δύο διαφανών μέσων και περνά από το ένα στο άλλο.

**διακόπτης:** Στοιχείο ηλεκτρικού κυκλώματος με το οποίο ανοίγουμε ή κλείνουμε το κύκλωμα.

**διαστολή χρόνου:** Η επιβράδυνση του χρόνου όταν η κίνηση γίνεται με ταχύτητες συγκρίσιμες με του φωτός.

**διαφανές υλικό:** Υλικό μέσα από το οποίο μπορεί να περάσει το φως.

**διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο σημείων:** είναι το φυσικό μέγεθος που μας δίνει το έργο του πεδίου ανά μονάδα φορτίου, για να μετακινηθεί ένα φορτίο από το ένα σημείο στο άλλο.

**διάχυτη ανάκλαση (ή διάχυση):** Η ανάκλαση φωτός πάνω σε τραχιά επιφάνεια.

**δίοδος:** Διάταξη που επιτρέπει τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος προς τη μία μόνο κατεύθυνση.

**δυναμικές γραμμές:** νοητές γραμμές που οπτικοποιούν ένα πεδίο.

**δυναμική ενέργεια:** ενέργεια λόγω θέσης ή κατάστασης.

## E

**ειδική θεωρία της σχετικότητας:** Η θεωρία του Einstein για τον χρόνο και τον χώρο που αντικαθιστά τη νευτώνεια μηχανική σε ταχύτητες συγκρίσιμες με του φωτός.

**έκλειψη Ηλίου:** Η σκιά της Σελήνης πάνω στη Γη, όταν παρεμβάλλεται ανάμεσα στη Γη και τον Ήλιο.

**έκλειψη Σελήνης:** Η σκιά της Γης πάνω στη Σελήνη, όταν παρεμβάλλεται ανάμεσα στη Σελήνη και τον Ήλιο. Πραγματοποιείται μόνο σε πανσέληνο.

**ελεύθερα ηλεκτρόνια:** Τα ηλεκτρόνια που κινούνται ελεύθερα στον όγκο ενός μετάλλου.

**εναλλασσόμενο ρεύμα (AC):** Ηλεκτρικό ρεύμα του οποίου η κατεύθυνση αντιστρέφεται περιοδικά.

**ενέργεια:** Είναι πρωταρχική έννοια και δεν μπορεί να οριστεί. Μπορεί μόνο να περιγραφεί μέσω παραδειγμάτων ή μέσω των μορφών της.

**επαγωγή:** Η φόρτιση ενός σώματος χωρίς να έρθει με κάτι σε επαφή.

**επίπεδο κάτοπτρο:** Καθρέφτης με επίπεδη επιφάνεια.

**εστία:** Το σημείο που συγκεντρώνονται οι ακτίνες του φωτός που προσπίπτουν παράλληλα στον κύριο άξονα, σε έναν φακό.

**εστιακή απόσταση:** Η απόσταση ανάμεσα στο κέντρο ενός φακού και οποιαδήποτε από τις δύο κύριες εστίες του.

## Η

**ηλεκτρικά πολωμένο:** Άτομο ή μόριο στο οποίο υπάρχει μετατόπιση φορτίου, έτσι στη μια του πλευρά εμφανίζεται περίσσεια θετικού και στην άλλη περίσσεια αρνητικού φορτίου.

**ηλεκτρική δύναμη ή δύναμη Coulomb:** Η δύναμη μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων. Είναι ελκτική όταν τα φορτία είναι ετερόνυμα και απωστική όταν τα φορτία είναι ομόνυμα.

**ηλεκτρική δυναμική ενέργεια:** Η ενέργεια που έχει ένα φορτίο λόγω της θέσης του σε ένα ηλεκτρικό πεδίο.

**ηλεκτρική ισχύς:** Ο ρυθμός μεταμόρφωσης ενέργειας ή ο ρυθμός παραγωγής έργου μέσω ηλεκτρικών φαινομένων. Ισούται με το γινόμενο της έντασης του ρεύματος επί τη διαφορά δυναμικού.

**ηλεκτρικό δίπολο:** Κάθε στοιχείο ηλεκτρικού κυκλώματος, καθώς έχει δύο πόλους-άκρα.

**ηλεκτρικό πεδίο:** Χώρος στον οποίο ασκούνται ηλεκτρικές δυνάμεις σε κάθε ηλεκτρικό φορτίο που θα βρεθεί στον χώρο αυτό.

**ηλεκτρικό ρεύμα:** Ροή φορτίων προς μία κατεύθυνση.

**ηλεκτρικό φορτίο:** Θεμελιώδης ιδιότητα της ύλης.

**ηλεκτρίση:** Η διαδικασία για να γίνει ένα σώμα ηλεκτρισμένο, δηλαδή να μπορεί να ασκήσει ηλεκτρικές δυνάμεις.

**ηλεκτρομαγνητής:** Συσκευή που αποκτά μαγνητικές ιδιότητες όταν και όσο διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα.

**ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία:** Η μεταφορά ενέργειας μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

**ηλεκτρομαγνητική επαγωγή:** Η εμφάνιση διαφοράς δυναμικού στα άκρα ενός αγωγού, λόγω της μεταβολής του μαγνητικού πεδίου κοντά στον αγωγό.

**ηλεκτρομαγνητικό κύμα:** Τα μικροκύματα, τα ραδιοκύματα, η υπέρυθρη ακτινοβολία, το φως, η υπεριώδης ακτινοβολία, οι ακτίνες X και οι ακτίνες γ.

**ηλεκτρομαγνητικό φάσμα:** Οι συχνότητες με τις οποίες μπορεί να διαδοθεί η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, διατεταγμένες σε αύξουσα ή φθίνουσα σειρά.

**ηλεκτρόνιο:** Αρνητικά φορτισμένο σωματίδιο που δομεί το άτομο.

**ημιαγωγός:** Υλικό που συμπεριφέρεται άλλοτε ως αγωγός και άλλοτε ως μονωτής, ανάλογα με τις συνθήκες στις οποίες βρίσκεται.

## Θ

**θερμοπυρηνική σύντηξη:** Η πυρηνική σύντηξη που προκαλείται λόγω της πολύ μεγάλης θερμοκρασίας, όπως αυτή που επικρατεί στο εσωτερικό των άστρων.

## Ι

**ιόν:** άτομο με περίσσεια ή έλλειμμα ηλεκτρονίων και φορτίο αντίστοιχα αρνητικό ή θετικό.

**ιοντισμός:** Η πρόσληψη ή η απομάκρυνση ηλεκτρονίων από ένα άτομο. Έχει ως αποτέλεσμα το άτομο να φορτιστεί αντίστοιχα αρνητικά ή θετικά.

**ισοδυναμία μάζας-ενέργειας:** Η διάσημη σχέση του Einstein  $E=mc^2$ , που ορίζει ότι η μάζα είναι μια «παγωμένη» μορφή ενέργειας.

**ισότοπα:** άτομα με τον ίδιο αριθμό πρωτονίων (ίδιο στοιχείο) και διαφορετικό αριθμό νετρονίων.

**ισχυρή αλληλεπίδραση (ή πυρηνική δύναμη):** Η ελκτική δύναμη ανάμεσα σε δύο νουκλεόνια, η οποία είναι πολύ ισχυρή σε μικρές αποστάσεις.

**ισχύς:** Ο ρυθμός μεταμόρφωσης ενέργειας ή ο ρυθμός παραγωγής έργου.

## Κ

**κβάντο:** Η ελάχιστη μονάδα μιας φυσικής ποσότητας.

**κιλοβατώρα (1kWh):** Η ποσότητα της ενέργειας που καταναλώνεται σε μία ώρα όταν ο ρυθμός κατανάλωσης είναι 1kW.

**κοίλο κάτοπτρο:** Κάτοπτρο που καμπυλώνεται προς τα μέσα.

**κοσμικές ακτίνες:** Υψηλής ταχύτητας σωματίδια που διασχίζουν το διάστημα και προέρχονται από βίαια συμβάντα στα άστρα.

**κοσμολογία:** Η μελέτη για την προέλευση και την εξέλιξη του κόσμου μας.

**κουάρκ:** Η μία από τις δύο «οικογένειες» στοιχειωδών σωματιύων.

**κουλόμπ (1C):** Η μονάδα ηλεκτρικού φορτίου στο S.I.

**κρίσιμη μάζα:** Η μικρότερη ποσότητα σχάσιμου υλικού που μπορεί να συντηρήσει μια αλυσιδωτή πυρηνική αντίδραση.

**κύκλωμα:** Μια κλειστή διαδρομή που μπορεί να διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα.

**κύκλωμα σε σειρά:** Κύκλωμα που όλα τα στοιχεία του διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα.

**κύριος άξονας:** Η ευθεία που συνδέει τα κέντρα καμπυλότητας των δύο επιφανειών ενός φακού.

**κυρτό κάτοπτρο:** Κάτοπτρο που καμπυλώνεται προς τα έξω.

## Λ

**λεπτόνιο:** Η μία από τις δύο «οικογένειες» στοιχειωδών σωματιύων.

## Μ

**μαγνήτης:** Αντικείμενο με μαγνητικές ιδιότητες.

**μαγνητικό πεδίο:** Ο χώρος μέσα στον οποίο ασκούνται μαγνητικές δυνάμεις

**μαγνητικοί πόλοι:** Οι δύο περιοχές ενός μαγνήτη όπου οι μαγνητικές δυνάμεις είναι ισχυρότερες.

**Μεγάλη Έκρηξη (Big Bang):** Η έκρηξη από την οποία προήλθε το σύμπαν μας.

**μικροκύματα:** Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα με ενέργεια φωτονίου μεγαλύτερη από τα ραδιοκύματα και μικρότερη από το υπέρυθρο.

**μονωτής:** Κακός αγωγός του ηλεκτρισμού.

## N

**νετρίνο:** Στοιχειώδες σωματίο που ανήκει στην οικογένεια των λεπτονίων.

**νετρόνιο:** Ένα από τα δύο είδη νουκλεονίων που δομούν τον πυρήνα του ατόμου. Είναι ηλεκτρικά ουδέτερο.

**νιούτον (1N):** Η μονάδα δύναμης στο S.I.

**νουκλεόνιο:** Συστατικό του πυρήνα του ατόμου. Μπορεί να είναι ένα πρωτόνιο ή ένα νετρόνιο.

## O

**ολική ανάκλαση:** Η πλήρης ανάκλαση του φωτός που προσπίπτει στη διαχωριστική επιφάνεια δύο μέσων, με γωνία μεγαλύτερη από την οριακή.

**οπτική ίνα:** Διαφανής ίνα που επιτρέπει τη διέλευση του φωτός κατά μήκος της, μέσω της ολικής ανάκλασης.

**οριακή γωνία:** Η ελάχιστη γωνία πρόσπτωσης στη διαχωριστική επιφάνεια δύο μέσων, για την οποία το φως παθαίνει ολική ανάκλαση.

## Π

**παράλληλη σύνδεση:** Η συνδεσμολογία σε ένα κύκλωμα (ή μέρος κυκλώματος) έτσι ώστε οι συσκευές να έχουν κοινά άκρα και την ίδια διαφορά δυναμικού.

**πηγή:** Διάταξη που παρέχει διαφορά δυναμικού (π.χ. μπαταρία, πρίζα).

**πλάσμα:** Η τέταρτη κατάσταση της ύλης, απαντάται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και μπορούμε να τη φανταστούμε σαν μια «σούπα» πυρήνων και ηλεκτρονίων.

**ποζιτρόνιο:** Το αντισωματίο του ηλεκτρονίου.

**πραγματικό είδωλο:** Είδωλο που σχηματίζεται όταν οι φωτεινές ακτίνες συγκλίνουν.

**πρίσμα:** Διαφανές αντικείμενο τριγωνικής διατομής που αναλύει το φως στα χρώματα από τα οποία αποτελείται.

**πρωτόνιο:** Ένα από τα δύο είδη νουκλεονίων που δομούν τον πυρήνα του ατόμου. Έχει θετικό φορτίο.

**πυκνωτής:** Διάταξη που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση ηλεκτρικού φορτίου.

**πυρηνική δύναμη:** βλέπε ισχυρή αλληλεπίδραση.

**πυρηνική σύντηξη:** Η ένωση δύο ελαφρών πυρήνων για τον σχηματισμό ενός βαρύτερου, με ταυτόχρονη έκλυση ενέργειας.

**πυρηνική σχάση:** Η διάσπαση ενός μεγάλου πυρήνα σε δύο μικρότερους, με ταυτόχρονη έκλυση ενέργειας.

**πυρηνικός αντιδραστήρας:** Διάταξη μέσα στην οποία πραγματοποιείται ελεγχόμενη πυρηνική σχάση ή σύντηξη.

## P

**ραδιενέργεια:** Η αυθόρμητη διάσπαση ορισμένων πυρήνων η οποία συνοδεύεται από εκπομπή υψηλής ενέργειας ακτινοβολίας.

**ραδιενεργός:** Ασταθής πυρήνας που μπορεί αυθόρμητα να σχάσει, απελευθερώνοντας υψηλής ενέργειας ακτινοβολία.

**ραδιενεργός ακτινοβολία:** Σωματίδια ή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία υψηλής ενέργειας που εκπέμπονται από ραδιενεργά άτομα.

**ραδιοκύματα:** Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα με τις μικρότερες ενέργειες φωτονίου.

**ραδιοχρονολόγηση με άνθρακα-14:** Μέθοδος προσ-

διορισμού του χρονικού διαστήματος που έχει περάσει από τον θάνατο ενός οργανισμού, η οποία βασίζεται στον προσδιορισμό της απομένουσας ποσότητας ραδιενεργού άνθρακα-14 στον οργανισμό.

**ρεμ (rem):** Μονάδα μέτρησης των επιπτώσεων της ακτινοβολίας στον άνθρωπο.

## Σ

**σέλας:** Φωτοβολία της ατμόσφαιρας που προκαλείται από την είσοδο ιόντων σε αυτήν.

**σκιά:** Σκοτεινή περιοχή που εμφανίζεται όταν ένα σώμα μπει μπροστά στο φως.

**σκοτεινή ύλη:** Αόρατη ύλη στο σύμπαν που δεν έχει προσδιοριστεί η ταυτότητά της.

**στοιχειώδη σωματίδια:** Οι βασικοί δομικοί λίθοι της ύλης.

**συγκλίνων ή συγκεντρωτικός φακός:** Φακός που συγκεντρώνει σε ένα σημείο τις παράλληλες φωτεινές ακτίνες. Είναι παχύτερος στη μέση και λεπτότερος στα άκρα.

**συνεχές ρεύμα (DC):** Ηλεκτρικό ρεύμα στο οποίο η ροή φορτίου γίνεται πάντα προς την ίδια κατεύθυνση.

**σύστημα αναφοράς:** Άξονες συντεταγμένων ως προς τους οποίους μπορεί να περιγραφεί η θέση και η κίνηση των σωμάτων.

**συστολή μήκους:** Η ελάττωση του μήκους κατά την κίνηση με ταχύτητες κοντά σε αυτή του φωτός.

**συχνότητα κύματος:** Ο αριθμός των κορυφών που περνούν από ένα σημείο στη μονάδα του χρόνου.

## T

**Τζουλ (1J):** Η μονάδα μέτρησης της ενέργειας στο S.I.

**τηλεσκόπιο:** Όργανο με το οποίο παρατηρούμε πολύ μακρινά αντικείμενα.

## Υ

**υπεριώδης ακτινοβολία (UV):** Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με ενέργεια φωτονίου πάνω από το ορατό και κάτω από τις ακτίνες X.

**υπέρυθρη ακτινοβολία:** Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με ενέργεια φωτονίου κάτω από το ορατό και πάνω από τα μικροκύματα.

## Φ

**φανταστικό είδωλο:** Είδωλο που σχηματίζεται από φωτεινές ακτίνες που δε συγκλίνουν στη θέση του ειδώλου.

**φάσμα απορρόφησης:** Συνεχές φάσμα που διακόπτεται από σκοτεινές γραμμές λόγω της απορρόφησης αυτών των συχνοτήτων από κάποια ουσία, μέσα από την οποία πέρασε το φως αυτό.

**φάσμα εκπομπής:** Το σύνολο των συχνοτήτων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπει ένα σώμα.

**φόρτιση:** Η διαδικασία για να αποκτήσει ένα σώμα ηλεκτρικό φορτίο. Μπορεί να γίνει με τριβή, με επαφή ή με επαγωγή.

**φως:** Το ορατό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, καθώς είναι αυτό που μπορεί να ερεθίσει τον αμφιβληστροειδή χιτώνα του ματιού.

**φωτόνιο:** Το κβάντο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

## X

**χιλιόγραμμα (1kg):** Η μονάδα μάζας στο S.I.

**χρόνος ημιζωής:** Ο χρόνος στον οποίο έχουν διασπαστεί οι μισοί πυρήνες ενός ραδιενεργού στοιχείου.

**χωρόχρονος:** Ο χώρος των τριών διαστάσεων που γνωρίζουμε, μαζί με μια τέταρτη διάσταση, αυτήν του χρόνου. Μέσα στον χωρόχρονο συμβαίνουν και υπάρχουν τα πάντα.

## Ω

**Ωμ (1Ω):** Η μονάδα ηλεκτρικής αντίστασης στο S.I.

## Τυπολόγιο

Ο νόμος του Coulomb	$F = K \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$
Για τη διαφορά δυναμικού $V_{AB}$ μεταξύ δύο σημείων του πεδίου A και B ηλεκτρικού πεδίου ισχύει	$U_A - U_B = W_{AB} = V_{AB} q$
Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος	$I = \frac{Q}{t}$
Ηλεκτρική αντίσταση	$R = \frac{V}{I}$
Ο νόμος του Ohm	$I = \frac{V}{R}$
Η εξάρτηση της ηλεκτρικής αντίστασης από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της	$R = \rho \frac{l}{A}$
Η ισοδύναμη αντίσταση σε σύνδεση σε σειρά	$R = R_1 + R_2$
Η ισοδύναμη αντίσταση σε παράλληλη σύνδεση	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ ή $R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$
Ηλεκτρική ενέργεια	$W = V \cdot I \cdot t$
Νόμος Joule	$Q = I^2 \cdot R \cdot t$
Ηλεκτρική ισχύς	$P = V \cdot I$
Απόδοση ηλεκτρικής συσκευής	$n = \frac{P_{\omega\phi}}{P_{κατ}}$
Ανάκλαση	$\alpha = \pi$
Δείκτης διάθλασης	$n = \frac{c}{v}$
Νόμος του Snell	$n_1 \cdot \eta\mu\theta_1 = n_2 \cdot \eta\mu\theta_2$
Οριακή γωνία	$\eta\mu\theta_{op} = \frac{n_2}{n_1}$
Θεμελιώδης εξίσωση της κυματικής	$c = \lambda \cdot f$
Ισοδυναμία μάζας ενέργειας	$E = m \cdot c^2$

### Πίνακας σταθερών

Όνομα	Σύμβολο	Τιμή
Ταχύτητα φωτός στο κενό	c	$3 \times 10^8$ m/s
Στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο	e	$1,6 \times 10^{-19}$ C
Σταθερά Planck	h	$6,626 \times 10^{-34}$ J.s
Σταθερά Coulomb	K	$9 \times 10^9$ N·m <sup>2</sup> /C <sup>2</sup>
Μηχανικό ισοδύναμο της θερμότητας		4,186 J/cal
Ηλεκτρονιοβόλτ	1 eV	$1,6 \times 10^{-19}$ J

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

**1.1.1** Ηλεκτροφόρο σαλάχι. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia και Creative Commons. Άδειες: Diego Delso, CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons. URL: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Raya\\_de\\_arrecife\\_\(Taeniura\\_lymma\),\\_mar\\_Rojo,\\_Egipto,\\_2023-04-17,\\_DD\\_67.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Raya_de_arrecife_(Taeniura_lymma),_mar_Rojo,_Egipto,_2023-04-17,_DD_67.jpg)

**1.1.2** Αλληλεπίδραση μπαλονιού και μαλλιών μετά από τρίψιμο. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia και Creative Commons. Άδειες: MikeRun, CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons. URL: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Attractive-and-repulsive-electric-force-demonstrations-with-charges.jpg#/media/File:Attractive-electric-force-between-hair-and-balloon.jpg>

**Σελ 15** Χάλκινη προτομή άγνωστου άνδρα, ίσως φιλοσόφου, που ανακαλύφθηκε στη βίλα των παπύρων στο Ηράκλειο. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia και Creative Commons. Άδειες: URL: Odyssees, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bust\\_of\\_an\\_unknown\\_Greek\\_-\\_Museo\\_archeologico\\_nazionale\\_di\\_Napoli.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bust_of_an_unknown_Greek_-_Museo_archeologico_nazionale_di_Napoli.jpg)

**Σελ 15** Πλάτωνας από Λεωνίδα Δρόση στην Ακαδημία Αθηνών. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia και Creative Commons. Άδειες: George E. Koronaios, CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons: [https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Plato#/media/File:Plato\\_by\\_Leonidas\\_Drosis\\_on\\_May\\_7,\\_2022.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Plato#/media/File:Plato_by_Leonidas_Drosis_on_May_7,_2022.jpg)

**1.1.14** Benjamin Franklin. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/Benjamin\\_Franklin#/media/File:Benjamin\\_Franklin\\_1767.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Benjamin_Franklin#/media/File:Benjamin_Franklin_1767.jpg)

**1.1.15** R.A. Millikan. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia: [https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Robert\\_Andrews\\_Millikan#/media/File:Robert\\_Andrews\\_Millikan\\_1920s.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Robert_Andrews_Millikan#/media/File:Robert_Andrews_Millikan_1920s.jpg)

**1.1.16** Η συσκευή που κατασκεύασε ο Millikan. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Millikan's\\_oil-drop\\_apparatus\\_1.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Millikan's_oil-drop_apparatus_1.jpg)

Αλληλεπίδραση μπαλονιού και μαλλιών μετά από τρίψιμο. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia και Creative Commons. Άδειες: MikeRun, CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons. URL: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Attractive-electric-force-between-hair-and-balloon.jpg>

**1.2.1** Σχήμα V και VI από τον Ottonis De Guericke Experimenta Nova (ut vocantur) Magdeburgica De Vacuo Spatio, Amstelodami: Janssonius, 1672, σελ. 148, που δείχνει τα πειράματα του Guericke με τη σφαίρα του θείου. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Guericke\\_Sulfur\\_globe.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Guericke_Sulfur_globe.jpg)

**1.2.3** Γυναίκα που αγγίζει τον ακροδέκτη μιας γεννήτριας Van de Graaff στο Αμερικανικό Μουσείο Επιστήμης και Ενέργειας, Oak Ridge, Tennessee, 18 Φεβρουαρίου 1982. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:President\\_Jimmy\\_Carter\\_in\\_Oak\\_Ridge\\_\(7071648945\)\\_2.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:President_Jimmy_Carter_in_Oak_Ridge_(7071648945)_2.jpg)

**1.2.17** Ο ηλεκτρόφορος είναι μια συσκευή που μπορεί να συσσωρεύει ηλεκτρικά φορτία. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electr%C3%B3foro\\_%281%29.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electr%C3%B3foro_%281%29.png)

**1.2.23** Ο ζυγός στρέψης του Coulomb. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia και Creative Commons. Άδειες: Fondo Antigo de la Biblioteca de la Universidad de Sevilla from Sevilla, España, CC BY 2.0, via Wikimedia Commons: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:El\\_mundo\\_f%C3%ADsico\\_1882\\_%22Balanza\\_el%C3%A9ctrica\\_de\\_Coulomb%22\\_\(4074154957\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:El_mundo_f%C3%ADsico_1882_%22Balanza_el%C3%A9ctrica_de_Coulomb%22_(4074154957).jpg)

**1.2.28** Αλεξικέραυνο σε καμπαναριό. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia και Creative Commons. Άδειες: George M. Groutas from Dali, Nicosia, Cyprus, CC BY 2.0, μέσω των Wikimedia Commons: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Εκκλησία\\_των\\_Αγίων\\_Ιωακείμ\\_και\\_Άννης\\_Κάλιανα\\_\(12391121383\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Εκκλησία_των_Αγίων_Ιωακείμ_και_Άννης_Κάλιανα_(12391121383).jpg)

**1.3.3** Ο Τέσλα κάθεται στο εργαστήριό του στο Κολοράντο Σπρινγκς μέσα στον «Μεγεθυντικό Πομπό» του που παράγει εκατομμύρια βολτ τάσης. Οι καμάρες έχουν μήκος 7 μ. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nikola\\_Tesla,\\_with\\_his\\_equipment\\_Wellcome\\_M0014782.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nikola_Tesla,_with_his_equipment_Wellcome_M0014782.jpg)

**1.3.4** Μάχη στα Δερβενάκια, 1822. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fb\\_02.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fb_02.jpg)

**1.3.31** Αεροφωτογραφία του Μεγάλου Επιταχυντή Αδρονίων του CERN. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia και Creative Commons. Άδειες: Maximilien Brice (CERN), CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons. URL: [https://el.wikipedia.org/wiki/Αν\\_\(Ωβέρνη-Πον-Αλπ\)#/media/Αρχείο:CERN\\_Aerial\\_View.jpg](https://el.wikipedia.org/wiki/Αν_(Ωβέρνη-Πον-Αλπ)#/media/Αρχείο:CERN_Aerial_View.jpg)

**1.3.32** Ανιχνευτής στο εσωτερικό του επιταχυντή. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia και Creative Commons. Άδειες: Maximilien Brice, CERN, CC BY 4.0, via Wikimedia Commons. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/ATLAS\\_experiment#/media/File:Installing\\_the\\_ATLAS\\_Calorimeter\\_-\\_edit1.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/ATLAS_experiment#/media/File:Installing_the_ATLAS_Calorimeter_-_edit1.jpg)

**1.3.33** Προσομοιωμένα δεδομένα που μοντελοποιήθηκαν για τον ανιχνευτή σωματιδίων CMS. Creative Commons άδειες και αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia: Lucas Taylor / CERN, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons. URL: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CMS\\_Higgs-event.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CMS_Higgs-event.jpg)

**1.4.1** Ενημερωτική πινακίδα που έγραφε «Ηλεκτρικό Φως Έντισον, Μην προσπαθείτε να ανάψετε με σπύρτο. Απλά γυρίστε το διακόπτη δίπλα στην πόρτα.». Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia και Creative Commons. Άδειες: Ruth Hartnup from Vancouver, Canada, CC BY 2.0, via Wikimedia Commons. URL: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:"This\\_Room\\_is\\_Equipped\\_With\\_Edison\\_Electric\\_Light"\\_\(11594766965\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:)

**1.4.13** Ηλεκτρική μπαταρία Volta. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia και Creative Commons. Άδειες: I, GuidoB, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Voltaic\\_pile#/media/File:VoltaBattery.JPG](https://en.wikipedia.org/wiki/Voltaic_pile#/media/File:VoltaBattery.JPG)

**1.4.16** Απεικόνιση μιας μπαταρίας Volta. Σκίτσο μουσείου. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:File\\_de\\_Volta.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:File_de_Volta.jpg)

**1.5.15** LEDS σε διάφορα περιβλήματα. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia και Creative Commons. Άδειες: Afrank99, CC BY-SA 2.0, μέσω των Wikimedia Commons. URL: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Verschiedene\\_LEDs.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Verschiedene_LEDs.jpg)

**Σελ 65** Χαρακτική του Andre-Marie Ampere. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ampere\\_Andre\\_1825.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ampere_Andre_1825.jpg)

**1.8.20** Παρθενώνας, Αθήνα Ελλάδα. Φωτογραφία τραβηγμένη το 1978. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia και Creative Commons. Άδειες: Steve Swayne, CC BY 2.0, via Wikimedia Commons. URL: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The\\_Parthenon\\_in\\_Athens.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_Parthenon_in_Athens.jpg)

**1.8.22** ΑΗΣ. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia και Creative Commons. Άδειες: Spiros Baracos, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons. URL: [https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Agios\\_Dimitrios\\_Power\\_Plant#/media/File:%CE%91%CE%97%CE%A3\\_-\\_panoramio.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Agios_Dimitrios_Power_Plant#/media/File:%CE%91%CE%97%CE%A3_-_panoramio.jpg)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

**2.2.1** Ρήγας Βελεστινλής Ανθολόγιο Φυσικής. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rigas\\_Velestinlis\\_Anthology\\_of\\_Physics\\_8o\\_178pages.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rigas_Velestinlis_Anthology_of_Physics_8o_178pages.jpg)

**2.2.2** Φορτωτικό Μηχάνημα. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia και Creative Commons. Άδειες: Zwergelstern, CC BY-SA 3.0, μέσω Wikimedia Commons. URL: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File>Loading\\_Machine\\_Scrap\\_01.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File>Loading_Machine_Scrap_01.jpg)

**2.2.3** Seg DVD. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia και Creative Commons. Άδειες: © Raimond Spekking. URL: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SEG\\_DVD\\_430\\_-\\_optical\\_disc\\_drive-4002.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SEG_DVD_430_-_optical_disc_drive-4002.jpg)

**2.2.9** Η Πηνελόπη στην Ιθάκη. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:JohnWilliamWaterhouse-PenelopeandtheSuitsors\(1912\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:JohnWilliamWaterhouse-PenelopeandtheSuitsors(1912).jpg)

**2.2.16** Ο Oersted ανακαλύπτει τον ηλεκτρομαγνητισμό το 1820. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Oersted\\_discovers\\_electromagnetism.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Oersted_discovers_electromagnetism.jpg)

**2.2.16** Μετάλλιο Oersted. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia και Creative Commons. Άδειες: Tiginbeg, CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Oersted\\_medal.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Oersted_medal.png)

**2.2.18** Αυτό το διάγραμμα απεικονίζει τη συμπεριφορά ενός αρνητικά φορτισμένου σωματιδίου που κινείται με ταχύτητα  $v$  σε μαγνητικό πεδίο  $B$ . Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia και Creative Commons. Άδειες: Jfmelegro, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons. URL: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FuerzaCentripetaLorentzN.svg>

**Σελ 132** Πείραμα Stern-Gerlach. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia και Creative Commons Άδειες: Tatoute, CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons. URL: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stern-Gerlach\\_experiment\\_svg.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stern-Gerlach_experiment_svg.svg)

**2.2.20** Tokaido Shinkansen τρένο. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia και Creative Commons. Άδειες: 1.02 editor, CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons. URL: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tokaido\\_Shinkansen\\_train\\_front.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tokaido_Shinkansen_train_front.jpg)

**2.3.14** Μετασχηματιστής ηλεκτρικής ενέργειας με καλώδια σε πυλώνα. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia και Creative Commons. Άδειες: Federico Candoni, CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons. URL: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:20141004\\_Trasformatore\\_Energia\\_Palo\\_2.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:20141004_Trasformatore_Energia_Palo_2.jpg)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

**3.1.1** Έκρηξη supernova. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia και Creative Commons. Άδειες: ESA/Hubble, CC BY 4.0, via Wikimedia Commons. URL: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:New\\_image\\_of\\_SN\\_1987A.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:New_image_of_SN_1987A.jpg)

**3.2.36** M57. Το νεφέλωμα του δαχτυλιδιού. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:M57\\_the\\_Ring\\_Nebula.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:M57_the_Ring_Nebula.jpg)

**3.3.21** James Clerk Maxwell. Αποθετήριο Πολυμέσων Wikimedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_Maxwell%27s\\_equations#/media/File:James\\_Clerk\\_Maxwell.png](https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_Maxwell%27s_equations#/media/File:James_Clerk_Maxwell.png)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

**4.1.5** Ο Becquerel τύλιξε, με μαύρο χαρτί, φωτογραφικό φιλμ με πάνω σε άλας του ουρανίου και παρατήρησε πως η φωτογραφική πλάκα επηρεαζόταν ακόμα και αν το σκεύασμα παρέμενε στο σκοτάδι. Αποθετήριο Πολυμέσων Wikimedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/Henri\\_Becquerel#/media/File:Becquerel\\_plate.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Henri_Becquerel#/media/File:Becquerel_plate.jpg)

**4.1.7** Κινούμενο διάγραμμα ενός αντιδραστήρα νερού υπό πίεση. Αποθετήριο Πολυμέσων Wikimedia: [https://el.wikipedia.org/wiki/Πυρηνική\\_ενέργεια#/media/Αρχείο:PressurizedWaterReactor.gif](https://el.wikipedia.org/wiki/Πυρηνική_ενέργεια#/media/Αρχείο:PressurizedWaterReactor.gif)

**4.1.18** Κύτταρο φυσικός φονιάς, φωτογραφία από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia και Creative Commons Άδειες: NIAID, CC BY 2.0, via Wikimedia Commons: [https://en.wikipedia.org/wiki/Natural\\_killer\\_cell#/media/File:Human\\_Natural\\_Killer\\_Cell\\_\(29120480442\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Natural_killer_cell#/media/File:Human_Natural_Killer_Cell_(29120480442).jpg)

**4.1.23** Άποψη του εργοστασίου της Φουκουσίμα μετά την καταστροφή. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia και Creative Commons. Άδειες: Digital Globe, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Fukushima\\_nuclear\\_accident#/media/File:Fukushima\\_I\\_by\\_Digital\\_Globe.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Fukushima_nuclear_accident#/media/File:Fukushima_I_by_Digital_Globe.jpg)

**4.1.24** Ερευνητικός αντιδραστήρας σύντηξης στην πολυτεχνική σχολή της Λωζάνης στην Ελβετία. Αποθετήριο πολυμέσων Wikimedia και Creative Commons. Άδειες: CRPP-EPFL, Association Suisse-Euratom, CC BY-SA 2.5, via Wikimedia Commons. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear\\_fusion#/media/File:TCV\\_vue\\_gen.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_fusion#/media/File:TCV_vue_gen.jpg)

**4.1.25** Marie Curie. Αποθετήριο Πολυμέσων Wikimedia: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Marie\\_Curie\\_c.\\_1920s.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Marie_Curie_c._1920s.jpg)

**4.3.10** Η Παγγαία. Αποθετήριο Πολυμέσων Wikimedia και Creative Commons. Άδειες: Geraki at el.wikipedia, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pangaea\\_el.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pangaea_el.png)

**4.3.11** Ακτινοβολία υποβάθρου. Αποθετήριο Πολυμέσων Wikimedia: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:llc\\_9yr\\_moll4096.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:llc_9yr_moll4096.png)

**4.3.13** Η εξέλιξη του σύμπαντος. Αποθετήριο Πολυμέσων Wikimedia και Creative Commons. Άδειες: User: Nk, CC BY-SA 2.5, via Wikimedia Commons: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Universe\\_expansion\\_el.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Universe_expansion_el.png)

## Βιβλιογραφία

1. ΟΔΗΓΟΣ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ, ARNOLD B. ARONS, εκδ. ΤΡΟΧΑΛΙΑ, 1992
2. Οι έννοιες της Φυσικής, PAUL G. HEWITT, ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΡΗΤΗΣ, 2018
3. PHYSICS FOR SCIENTISTS & ENGINEERS, Raymond Serway-John Jewett, εκδ. Cengage Learning, 2018
4. <https://scoollab.web.cern.ch>
5. ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ, Β' Τεχνικού Λυκείου, Χρυσ. Φ. Καβουνίδου, ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ, 1995
6. ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ, Γ' Τεχνικού Λυκείου, Χρυσ. Φ. Καβουνίδου, ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ, 1997
7. Εικόνες της σχετικότητας 1, Lewis Epstein, εκδόσεις ΚΑΤΟΠΤΡΟ, 1990
8. Εικόνες της σχετικότητας 2, Lewis Epstein, εκδόσεις ΚΑΤΟΠΤΡΟ, 1990
9. Πανεπιστημιακή Φυσική, Hugh D. Young, εκδόσεις Παπαζήση, 2022
10. Φυσική, Halliday-Resnick, εκδόσεις Πνευματικός, 1976
11. Εισαγωγή στην Ηλεκτροδυναμική, David J. Griffiths, 2013, ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΡΗΤΗΣ



