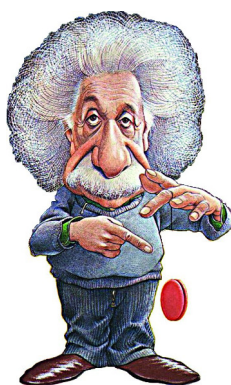

Σημειώσεις Φυσικής

Γ' Γυμνασίου

Καραδάμογλου Ιωάννης



**Πρότυπο Πειραματικό
Γυμνάσιο Ηρακλείου**

2015-2016

Πρόλογος – Ευχαριστίες

- Ο στόχος.** Αυτές οι σημειώσεις αποτελούν την προσπάθεια του εισηγητή ώστε το πρώτο μάθημα Φυσικής Γ' γυμνασίου να γίνει ένα ταξίδι μέσω του οποίου οι μαθητές θα ανακαλύψουν την γνώση όσο δυνατόν πιο ευχάριστα. Ο στόχος είναι οι μαθητές να αποκτήσουν την παραξενιά να αναρωτιούνται **γιατί** συμβαίνουν τα φαινόμενα που παρατηρούν γύρω τους, αλλά και την ικανότητα να ανακαλύπτουν τον λόγο που συμβαίνουν. Ιδανικά, η παραξενιά αυτή δεν θα περιοριστεί μόνο στα φυσικά φαινόμενα αλλά σε κάθε τι που τους απασχολεί στη ζωή τους και θα τους επιτρέψει, αφού καταλάβουν γιατί συμβαίνει κάτι, να αντιδρούν κατάλληλα.
- Η μέθοδος.** Οι σημειώσεις αυτές δεν αποτελούν υποκατάστατο του βιβλίου, αλλά ένα μεγάλο φύλλο εργασίας το οποίο καλούνται να συμπληρώσουν οι μαθητές κατά την διάρκεια του μαθήματος. Συμπληρώνοντας τα κενά κάθε παραγράφου, συχνά με την βοήθεια κάποιου πειράματος, οι μαθητές οδηγούνται μόνοι τους στο συμπέρασμα της παραγράφου. Την θεωρία κάθε παραγράφου συμπληρώνουν ασκήσεις με σκοπό να προβάλουν τις συνέπειες των νόμων της Φυσικής στη ζωή μας, αλλά και να εξάψουν την φαντασία των μαθητών.
- Και το αποτέλεσμα.** Καθώς οι σημειώσεις δημιουργούνται για πρώτη φορά φέτος, παράλληλα με την εξέλιξη του μαθήματος, απέχουν ακόμα πολύ από το ιδανικό. Όμως, η χρήση των σημειώσεων στις τάξεις του Πρότυπου Πειραματικού Γυμνασίου του Ηρακλείου είχε ενθαρρυντικά αποτελέσματα, με την πλειοψηφία των μαθητών να αγκαλιάζει την προσπάθεια. Οι ερωτήσεις και το ενδιαφέρον των μαθητών, αποτέλεσαν το κίνητρο, αλλά και την πηγή ανατροφοδότησης για τις πολλές αλλαγές που έγιναν στην πορεία.

Τους ευχαριστώ θερμά και τους αφιερώνω τις σημειώσεις αυτές.

Περιεχόμενα

1 Ηλεκτρικές δυνάμεις	1
1.1 Η ηλεκτρική και οι τέσσερις Θεμελιώδεις δυνάμεις	1
1.2 Ανακαλύπτοντας την ηλεκτρική δύναμη	2
1.3 Ο νόμος του Coulomb	4
1.4 Το φορτίο μέσα στην ύλη	8
1.4.1 Ηλέκτριση με τριβή	9
1.4.2 Ηλέκτριση με επαφή	11
1.4.3 Ηλέκτριση με επαγωγή	13
2 Ηλεκτρικό ρεύμα	17
2.1 Εισαγωγή	17
2.2 Το ηλεκτρικό ρεύμα	18
2.3 Ποσοτική περιγραφή του ηλεκτρικού κυκλώματος	23
2.3.1 Σύνδεση αντιστάσεων σε σειρά	30
2.3.2 Παράλληλη σύνδεση αντιστάσεων	32
2.4 Ηλεκτρική Ενέργεια - Ισχύς	34
2.4.1 Η ηλεκτρική ενέργεια που παρέχει ή καταναλώνει μια συσκευή.	34
2.4.2 Ηλεκτρική ισχύς μιας συσκευής.	36
2.4.3 Το ηλεκτρικό ρεύμα στο σπίτι μας.	37
3 Ταλαντώσεις - Κύματα	39
3.1 Εισαγωγή	39
3.2 Μια απλή ταλάντωση	40
3.2.1 Τα χαρακτηριστικά μιας ταλάντωσης	41
3.3 Κύματα	44
3.3.1 Αρμονικά κύματα	46
3.3.2 Τα χαρακτηριστικά ενός αρμονικού κύματος	48
Βιβλιογραφία	51

Κεφάλαιο 1

Ηλεκτρικές δυνάμεις

1.1 Η ηλεκτρική και οι τέσσερις Θεμελιώδεις δυνάμεις

**Οι τέσσερις
θεμελιώδεις
δυνάμεις.**

Όπως είδαμε στη Φυσική της δευτέρας Γυμνασίου, όλες οι δυνάμεις που εμφανίζονται στον κόσμο μας προκύπτουν από τέσσερις μόνο θεμελιώδεις δυνάμεις, την ασθενή πυρηνική δύναμη, την ισχυρή πυρηνική δύναμη, την ηλεκτρομαγνητική δύναμη και τη βαρυτική δύναμη. Αυτές ρυθμίζουν κάθε τι που συμβαίνει στο σύμπαν όπως για παράδειγμα αν θα δημιουργηθούν αστέρια και πλανήτες, άτομα και μόρια, πόσα θα είναι τα διαφορετικά είδη ατόμων, ποιες θα είναι οι χημικές τους ιδιότητες και αν αυτές θα επιτρέπουν τη δημιουργία ζωής στον πλανήτη μας και αλλού στο σύμπαν.

**Η βαρυτική
δύναμη**

Στη Φυσική της Β' Γυμνασίου ασχοληθήκαμε ιδιαίτερα με τη βαρυτική δύναμη καθώς αυτή ευθύνεται για το βάρος που ασκείται σε όλα τα σώματα στον πλανήτη μας, οπότε παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη ζωή μας. Οι βαρυτικές δυνάμεις όμως, εκτός από το βάρος μας, ευθύνονται και για άλλα πολύ πιο εντυπωσιακά φαινόμενα, όπως για παράδειγμα τη δημιουργία των πλανητών, των αστερών και των γαλαξιών, αλλά και άλλων πιο εξωτικών αστρικών σωμάτων όπως οι αστέρες νετρονίων και οι μαύρες τρύπες.

**Οι Ηλεκτρικές
δυνάμεις στην
καθημερινή
μας ζωή.**

Φέτος θα ασχοληθούμε με την ηλεκτρική δύναμη, η οποία αποτελεί το «μισό» μιας άλλης από τις τέσσερις θεμελιώδεις δυνάμεις, της ηλεκτρομαγνητικής δύναμης. Στη Φυσική της Β' Γυμνασίου είδαμε ότι η ηλεκτρική δύναμη είναι υπεύθυνη για τις δυνάμεις εξ' επαφής που εμφανίζονται όταν δύο σώματα ακουμπάνε μεταξύ τους. Δηλαδή, η ηλεκτρική δύναμη ευθύνεται για όλες τις δυνάμεις που συναντάμε καθημερινά στη ζωή μας εκτός από τη δύναμη του βάρους.

**Η κόλλα της
ύλης στον
κόσμο μας.**

Όμως και οι ηλεκτρικές δυνάμεις κάνουν πολύ περισσότερα από το να προκαλούν τις καθημερινές δυνάμεις εξ' επαφής. Αυτές είναι η «κόλλα» που κρατάει τα ηλεκτρόνια των ατόμων κοντά στους πυρήνες ώστε να σχηματίσουν μαζί τα άτομα. Ομοίως, παίζουν τον ρόλο της «κόλλας» μεταξύ των ατόμων ώστε από αυτά να ενωθούν σχηματίζοντας τα μόρια. Χωρίς ηλεκτρικές δυνάμεις δεν θα είχαμε άτομα και μόρια, οπότε το σύμπαν θα ήταν εξαιρετικά μονότονο, απίστευτα βαρετό και φυσικά χωρίς ζωή.

**Ηλεκτρισμός
και πολιτισμός**

Όπως όμως μάλλον φαντάζεστε οι ηλεκτρικές δυνάμεις, όπως υπονοεί το όνομα τους, έχουν άμεση σχέση και με οτιδήποτε ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό, δηλαδή με όλο τον τεχνολογικό μας πολιτισμό. Τα πλυντήρια, τα ψυγεία, οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, τα κινητά τηλέφωνα βασίζονται στις ηλεκτρικές δυνάμεις, όπως και η ύπαρξη των ραδιοφωνικών σημάτων, του Wi-Fi αλλά και του φωτός. Μάλιστα, ακόμα και το ανθρώπινο νευρικό σύστημα μεταφέρει τα ερεθίσματα μέσω ηλεκτρι-

κών παλμών. Όπως καταλαβαίνετε υπάρχουν πολύ λόγοι για να μας απασχολούν οι ηλεκτρικές δυνάμεις.

Θα ξεκινήσουμε αναζητώντας την ιδιότητα που πρέπει να έχει ένα σώμα για να ασκεί και να του ασκούνται ηλεκτρικές δυνάμεις. Στη συνέχεια, μια που η δύναμη είναι διανυσματικό φυσικό μέγεθος, θα αναζητήσουμε τη διεύθυνση, τη φορά και το μέτρο τους. Μάλιστα, θα συγκρίνουμε τα ευρήματά μας για τις ηλεκτρικές δυνάμεις με αυτά των βαρυτικών δυνάμεων που γνωρίζουμε, καθώς όπως θα δούμε έχουν αρκετές ομοιότητες.

1.2 Ανακαλύπτοντας την ηλεκτρική δύναμη

Πότε ασκούνται ηλεκτρικές δυνάμεις;

Τώρα που πειστήκατε ότι οι ηλεκτρικές δυνάμεις είναι εξαιρετικά σημαντικές για τον κόσμο στον οποίο ζούμε, ας προσπαθήσουμε να βρούμε πότε και γιατί ασκούνται οι ηλεκτρικές δυνάμεις. Για παράδειγμα, έχουμε δει ότι για να ασκούνται βαρυτικές δυνάμεις μεταξύ δύο σωμάτων πρέπει αυτά να έχουν μια ιδιότητα που ονομάσαμε μάζα. Ποια ιδιότητα πρέπει να έχουν άραγε δύο σώματα ώστε να ασκούνται μεταξύ τους ηλεκτρικές δυνάμεις; Ας κάνουμε μερικά πειράματα.

- α) Πλησιάστε ένα πλαστικό στυλό σε μικρά κομματάκια χαρτιού (ή σε κλωστές ή σε κομματάκια αλουμινόχαρτο). Κινήθηκαν τα χαρτάκια; Ασκείται κάποια δύναμη από το στυλό στα χαρτάκια;
- β) Τρίψτε τώρα το στυλό πάνω στα μαλλιά σας και επαναλάβετε το πείραμα. Ασκεί τώρα δυνάμεις το στυλό στα χαρτάκια; Συμφωνείτε ότι το στυλό, μετά την τριβή του με το μαλλί, μοιάζει να απέκτησε μια καινούργια ιδιότητα που το κάνει να ασκεί ηλεκτρικές δυνάμεις; Πως νομίζετε ότι ονόμασαν οι Φυσικοί την ιδιότητα αυτή;

Άρα λοιπόν ένα σώμα για να ασκεί και να του ασκούνται ηλεκτρικές δυνάμεις πρέπει να έχει μια καινούργια ιδιότητα που την ονομάσαμε **ηλεκτρικό φορτίο**.¹

Ο Θαλής και το ήλεκτρο.

Το φαινόμενο που παρατηρήσαμε στο πείραμα μας δεν απέχει πολύ από αυτό που παρατήρησε ο Θαλής ο Μιλήσιος το 600 π.Χ. και το οποίο αποτελεί την πρώτη καταγεγραμμένη παρατήρηση των ηλεκτρικών δυνάμεων. Ο Θαλής διαπίστωσε ότι όταν έτριβε ένα κομμάτι ήλεκτρο (κεχριμπάρι) με μάλλινο ύφασμα αυτό ασκούσε δυνάμεις σε μικρά αντικείμενα, όπως ακριβώς και το στυλό μας. Μάλιστα από το ήλεκτρο πήραν οι ηλεκτρικές δυνάμεις και το όνομα τους, τα δε σώματα τα οποία ασκούν ηλεκτρικές δυνάμεις τα αποκαλούμε **ηλεκτρισμένα**.

Διεύθυνση και φορά.

Ποια είναι άραγε η διεύθυνση και η φορά των ηλεκτρικών δυνάμεων που ασκούνται μεταξύ δύο σωμάτων; Έχουμε δει π.χ. ότι οι βαρυτικές δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ δύο σωμάτων έχουν διεύθυνση την ευθεία που ενώνει τα δύο σώματα, ενώ η φορά τους είναι τέτοια ώστε οι βαρυτικές δυνάμεις να είναι πάντα ελκτικές. Για να δούμε τι κάνουν οι ηλεκτρικές,

- α) Τρίψτε δυνατά δύο όμοια μπαλόνια μεταξύ τους και στη συνέχεια ακουμπήστε το ένα στο θρανίο σας. Τώρα φέρτε το άλλο μπαλόνι κοντά στο πρώτο ώστε να πλησιάσουν οι περιοχές που τρίψατε. Τα μπαλόνια πλησιάζουν ή απομακρύνονται; Οι μεταξύ τους ηλεκτρικές δυνάμεις είναι ελκτικές² ή απωστικές;

¹ Στο εξής για συντομία μπορούμε να αποκαλούμε το ηλεκτρικό φορτίο και απλά ως φορτίο.

² Αν έχετε ποτέ βρεθεί κοντά στην οθόνη μιας, σπάνιας πια, παλιάς τηλεόρασης θα παρατηρήσετε ότι η οθόνη έλκει τις τρίχες στο χέρι σας με ηλεκτρικές δυνάμεις.

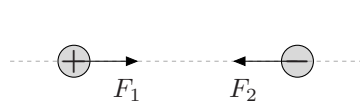
β) Τρίψτε τα δύο μπαλόνια με μάλλινο ύφασμα και στη συνέχεια ακουμπήστε το ένα στο θρανίο σας. Τώρα φέρτε το άλλο μπαλόνι κοντά στο πρώτο ώστε να πλησιάσουν οι περιοχές που τρίψατε. Τα μπαλόνια πλησιάζουν ή απομακρύνονται;Οι μεταξύ τους ηλεκτρικές δυνάμεις είναι ελκτικές ή απωστικές;³

γ) Συμφωνείτε ότι οι ηλεκτρικές δυνάμεις μεταξύ δύο φορτισμένων σωμάτων, είτε αυτές είναι ελκτικές είτε απωστικές, μοιάζουν να έχουν διεύθυνση την ευθεία που ενώνει τα δύο φορτία;

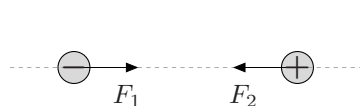
Δύο είδη φορτίου!

Είδαμε ότι η διεύθυνση των ηλεκτρικών δυνάμεων είναι πάντα στην ευθεία που ενώνει τα δύο φορτία, όμως η φορά τους εξαρτάται από τον τρόπο που χρησιμοποιήσαμε για να φορτίσουμε τα δύο μπαλόνια αφού αυτά άλλοτε απωθούνται και άλλοτε έλκονται!!! Αυτό οδήγησε τους Φυσικούς, μετά από πολλά πειράματα, να συμπεράνουν ότι υπάρχουν δύο είδη ηλεκτρικού φορτίου και οι ηλεκτρικές δυνάμεις μεταξύ δύο σωμάτων είναι ελκτικές ή απωστικές ανάλογα με το είδος του φορτίου που έχουν τα δύο σώματα.

Τα δύο αυτά είδη φορτίου οι Φυσικοί τα ονόμασαν **θετικό φορτίο** και **αρνητικό φορτίο** και διαπίστωσαν ότι οι ηλεκτρικές δυνάμεις μεταξύ δύο σωμάτων είναι απωστικές όταν τα δύο σώματα έχουν ίδιου είδους φορτία, ενώ οι ηλεκτρικές δυνάμεις είναι ελκτικές όταν τα δύο σώματα έχουν διαφορετικού είδους φορτία όπως φαίνεται στα σχήματα που ακολουθούν.



Το σώμα στα αριστερά έχει θετικό φορτίο ενώ αυτό στα δεξιά αρνητικό. Τα δύο σώματα έχουν **ετερόνυμα** φορτία οπότε **έλκονται**. Η διεύθυνση των δυνάμεων είναι πάνω στην ευθεία που ενώνει τα φορτία.



Το σώμα στα αριστερά έχει αρνητικό φορτίο, ενώ αυτό στα δεξιά θετικό. Τα δύο σώματα έχουν **ετερόνυμα** φορτία οπότε **έλκονται**. Η διεύθυνση των δυνάμεων είναι πάνω στην ευθεία που ενώνει τα φορτία.



Και τα δύο σώματα έχουν θετικό φορτίο. Τα δύο σώματα έχουν **ομόνυμα** φορτία οπότε **απωθούνται**. Η διεύθυνση των δυνάμεων είναι πάνω στην ευθεία που ενώνει τα φορτία.



Και τα δύο σώματα έχουν αρνητικό φορτίο. Τα δύο σώματα έχουν **ομόνυμα** φορτία οπότε **απωθούνται**. Η διεύθυνση των δυνάμεων είναι πάνω στην ευθεία που ενώνει τα φορτία.

Το μέτρο των ηλεκτρικών δυνάμεων;

Κατά τη μελέτη της βαρυτικής δύναμης είχαμε ανακαλύψει ότι το μέτρο της βαρυτικής δύναμης μεταξύ δύο σωμάτων εξαρτάται από τη μάζα των σωμάτων και τη μεταξύ τους απόσταση. Για να δούμε από τι εξαρτώνται οι ηλεκτρικές δυνάμεις.

α) Από τα πειράματα που πραγματοποιήσατε, θα λέγατε ότι το μέτρο των ηλεκτρικών δυνάμεων μεταξύ δύο σωμάτων εξαρτάται από το πόσο πολύ τρίψατε τα σώματα και άρα από το φορτίο που έχουν τα σώματα;

β) Από τα πειράματα που πραγματοποιήσατε, Θα λέγατε ότι το μέτρο των ηλεκτρικών δυνάμεων μεταξύ δύο σωμάτων εξαρτάται από τη μεταξύ τους απόσταση;

³Το φαινόμενο αυτό το έχετε σίγουρα παρατηρήσει όταν χτενίζετε με πλαστική χτένα. Συχνά, μετά το χτένισμα οι τρίχες των μαλλιών σας «πετάνε», αφού έχουν αποκτήσει φορτίο οπότε απωθούνται μεταξύ τους με απωστικές ηλεκτρικές δυνάμεις.

γ) Όπως είδαμε οι ηλεκτρικές δυνάμεις προκαλούν παρατηρήσιμα φαινόμενα ακόμα και μεταξύ μικρών σε διαστάσεις σωμάτων. Θα λέγατε λοιπόν ότι οι ηλεκτρικές δυνάμεις είναι συνήθως μικρότερες ή μεγαλύτερες από τις βαρυτικές;

δ) Σε τι μονάδες μετράμε τις ηλεκτρικές δυνάμεις;

Δηλαδή το μέτρο των ηλεκτρικών δυνάμεων μεταξύ δύο φορτισμένων σωμάτων, εξαρτάται από το φορτίο και τη μεταξύ τους απόσταση όπως οι βαρυτικές εξαρτώνται από την μάζα και την απόσταση. Οι ηλεκτρικές όμως δυνάμεις μοιάζουν να είναι πιο δυνατές.

Ασκήσεις :

1. Στη δεύτερη στήλη του πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των Βαρυτικών δυνάμεων. Συμπληρώστε στην τρίτη στήλη τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά των Ηλεκτρικών δυνάμεων.

	Βαρυτικές δυνάμεις	Ηλεκτρικές δυνάμεις
Ποια ιδιότητα πρέπει να έχει ένα σώμα για να ασκεί και να του ασκούνται δυνάμεις;	Μάζα (ή/και ενέργεια)	
Ποια είναι η διεύθυνση των δυνάμεων μεταξύ δύο σωμάτων;	Η ευθεία που ενώνει τα δύο σώματα.	
Ποια είναι η φορά των δυνάμεων μεταξύ δύο σωμάτων;	Πάντα ελκτικές.	
Από τι εξαρτάται το μέτρο των δυνάμεων μεταξύ δύο σωμάτων;	α) Τη μάζα των δύο σωμάτων. β) Τη μεταξύ τους απόσταση.	

1.3 Ο νόμος του Coulomb

Στην προηγούμενη παράγραφο εξετάσαμε τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών δυνάμεων. Όμως, όπως ήδη ξέρετε, οι Φυσικοί δεν αρκούνται μόνο στις ποιοτικές περιγραφές, αλλά επιδιώκουν να διατυπώσουν τους φυσικούς νόμους στην μαθηματική γλώσσα, ώστε να μπορούν να κάνουν ακριβείς ποσοτικούς υπολογισμούς. Πριν να διατυπώσουμε τον νόμο που προσδιορίζει το μέτρο των ηλεκτρικών δυνάμεων που ασκούνται μεταξύ δύο φορτισμένων σωμάτων, ας πούμε λίγα περισσότερα για το ηλεκτρικό φορτίο και τις μονάδες του.

Όπως είδαμε, η ιδιότητα των σωμάτων που τα κάνει να ασκούν ηλεκτρικές

Φυσικό μέγεθος φορτίο, μονάδες.

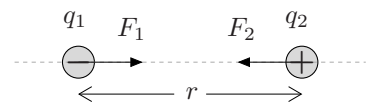
1.3. Ο ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ COULOMB

δυνάμεις είναι το φορτίο. Οι Φυσικοί για να περιγράψουν ποσοτικά την ιδιότητα αυτή, όρισαν το φυσικό μέγεθος του φορτίου, το οποίο συμβολίζουμε συνήθως με το γράμμα q . Μονάδες του ηλεκτρικού φορτίου, στο διεθνές σύστημα μονάδων S.I., είναι τα Coulomb με σύμβολο το C. Όπως θα δούμε παρακάτω, φορτίο ίσο με ένα Coulomb $q = 1\text{C}$ είναι τεράστιο και σπάνια εμφανίζεται στη φύση. Στα περισσότερα φαινόμενα που συναντάμε γύρω μας, όπως στα πειράματα που κάναμε, τα φορτία είναι της τάξης των νανοκουλόμπ $\text{nC} = 10^{-9}\text{C}$ ή το πολύ των μικροκουλόμπ $\mu\text{C} = 10^{-6}\text{C}$.

Η μονάδα του φορτίου ονομάστηκε Coulomb προς τιμήν του Γάλλου Φυσικού Charles-Augustin de Coulomb (1736-1806) ο οποίος ανακάλυψε τη μαθηματική σχέση, δηλαδή τον νόμο, που μας λέει ποιο είναι το μέτρο των ηλεκτρικών δυνάμεων που ασκούνται μεταξύ δύο μικροσκοπικών φορτισμένων σωμάτων και πως αυτό εξαρτάται από τα φορτία των δύο σωμάτων και την μεταξύ τους απόσταση.

Ο νόμος του Coulomb.

Ο κύριος Coulomb αρχικά τοποθέτησε δύο μικρά σφαιρικά σώματα σε κάποια απόσταση και στη συνέχεια, αφού τα φόρτισε με ηλεκτρικό φορτίο, μέτρησε με ακρίβεια την ηλεκτρική δύναμη που ασκούσαν μεταξύ τους. Επανέλαβε το πείραμα πολλές φορές, μεταβάλλοντας όμως κάθε φορά κάποιο από τα φορτία ή τη μεταξύ τους απόσταση. Οι μετρήσεις του έδειξαν ότι το μέτρο της μεταξύ τους ηλεκτρικής δύναμης είναι ανάλογο του φορτίου του κάθε σώματος και αντιστρόφως ανάλογο του τετραγώνου της μεταξύ τους απόστασης, δηλαδή



$$F = K \cdot \frac{|q_1 \cdot q_2|}{r^2} \quad (1.1)$$

όπου το K είναι μια σταθερά⁴ η οποία στο διεθνές σύστημα μονάδων ισούται με $K = 9 \cdot 10^9 \text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$. Η παραπάνω μαθηματική σχέση 1.1 είναι γνωστή και ως **νόμος του Coulomb**. Ας κάνουμε μια εφαρμογή για να κατανοήσουμε καλύτερα τι μας λέει ο νόμος του Coulomb για τον τρόπο που εξαρτάται η ηλεκτρική δύναμη από τα φορτία q_1 και q_2 των σωμάτων και την μεταξύ τους απόσταση r .

Διερεύνηση του νόμου του Coulomb.

Φέρνουμε σε απόσταση $r = 3\text{m}$ δύο μικρά σφαιρικά σώματα, το σώμα 1 και το σώμα 2, τα οποία έχουν ηλεκτρικά φορτία $q_1 = 1\text{nC}$ και $q_2 = -10\text{nC}$ αντίστοιχα. (Δίνεται $K = 9 \cdot 10^9 \text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$)

α) Σχεδιάστε τα δύο σώματα και τις ηλεκτρικές δυνάμεις F_1 και F_2 που ασκούνται στα σώματα 1 και 2 αντίστοιχα.

β) Καταγράψτε τα δεδομένα και τα ζητούμενα και μετατρέψτε όλες τις τιμές στο σύστημα μονάδων S.I.

γ) Υπολογίστε το μέτρο της δύναμης F_1 που ασκείται στο σώμα 1. Ποια είναι η δύναμη F_2 που ασκείται στο σώμα 2.

⁴Η σταθερά K υπάρχει εκεί απλά και μόνο ώστε η σχέση 1.1 να δίνει αποτελέσματα στις μονάδες δύναμης N που χρησιμοποιούμε στο S.I.. Η σταθερά αυτή έχει την ίδια τιμή οπουδήποτε στο σύμπαν.

-

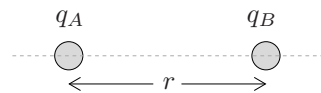
 δ) Πως θα άλλαζε το αποτέλεσμα σας αν στο νόμο του Coulomb δεν υπήρχε την απόλυτη τιμή; Είναι δυνατόν το μέτρο ενός διανύσματος να είναι αρνητικό;
 ε) Πως θα άλλαζαν οι ηλεκτρικές δυνάμεις αν
 i) $q_1 = -1\text{nC}$ και $q_2 = +10\text{nC}$
 ii) $q_1 = +1\text{nC}$ και $q_2 = +10\text{nC}$
 iii) $q_1 = -1\text{nC}$ και $q_2 = -10\text{nC}$
 στ) Πως θα άλλαζαν οι ηλεκτρικές δυνάμεις αν το φορτίο του σώματος 1 ήταν διπλάσιο; Αν ήταν τριπλάσιο;
 ζ) Πως θα άλλαζαν οι ηλεκτρικές δυνάμεις αν το φορτίο του σώματος 2 ήταν διπλάσιο; Αν ήταν τριπλάσιο;
 η) Πως θα άλλαζαν οι ηλεκτρικές δυνάμεις αν η απόσταση των δύο φορτίων ήταν διπλάσια; Αν ήταν τριπλάσια;

Όπως είδαμε στην προηγούμενη εφαρμογή, ο νόμος του Coulomb προβλέπει ότι η ηλεκτρικές δυνάμεις F_1 και F_2 που ασκούνται στα δύο φορτία q_1 και q_2 θα είναι πάντα κατά μέτρο ίσες,⁵ $F_1 = F_2$ ακόμα και όταν τα φορτία δεν είναι μεταξύ τους ίσα. Μας λέει, για παράδειγμα, ότι η δύναμη που θα ασκεί ένα φορτίο «νάνος» $q_1 = 1\text{nC}$ σε ένα φορτίο «γίγαντα», $q_2 = 1\text{C}$, θα είναι όση δύναμη θα ασκεί και ο γίγαντας στον νάνο. Αν αυτό σας φαίνεται παράδοξο η παρακάτω εφαρμογή θα πρέπει να σας πείσει (;) ότι αυτό είναι απολύτως λογικό.

**Ίσες δυνάμεις
 μεταξύ άνισων
 φορτίων;**

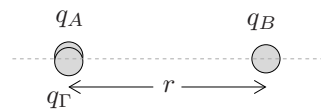
Φέρνουμε σε απόσταση $r = 3\text{m}$ δύο όμοια μικροσκοπικά σφαιρικά σώματα A και B , τα οποία είναι φορτισμένα με ίσα φορτία $q_A = q_B = 1\text{nC}$.

- α) Υπολογίστε το μέτρο της δύναμης F_{AB} που ασκείται στο σώμα A από το σώμα B και της δύναμης F_{BA} που ασκείται στο σώμα B από το σώμα A Σχεδιάστε τις.



- β) Εφόσον οι δύο σφαίρες έχουν ίσα φορτία, σας φαίνεται λογικό που οι ηλεκτρικές δυνάμεις που τους ασκούνται είναι ίσου μέτρου;

- γ) Βιδώνουμε τώρα πάνω στη σφαίρα A μια όμοια σφαίρα Γ με ίδιο φορτίο $q_\Gamma = q_A = q_B$. Υπολογίστε το μέτρο της δύναμης $F_{\Gamma B}$ που ασκείται στο σώμα Γ από το σώμα B και της δύναμης $F_{B\Gamma}$ που ασκείται στο σώμα B από το σώμα Γ Σχεδιάστε τις.



- δ) Ποιο είναι το συνολικό φορτίο $q_{A\Gamma}$ του σώματος $A\Gamma$ Ποια είναι η συνισταμένη δύναμη $F_{A\Gamma,ολ}$ που ασκείται στο σώμα $A\Gamma$ Σχεδιάστε την.

- ε) Ποια είναι η συνισταμένη δύναμη $F_{B,ολ}$ που ασκείται στο σώμα B από τα φορτία A και Γ ; Σχεδιάστε την.

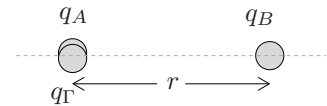
⁵Το ίδιο ακριβώς μας λέει και ο τρίτος νόμος του Νεύτωνα, όπως είδαμε στη Φυσική της Β' Γυμνασίου.

1.3. Ο ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ COULOMB

Από την παραπάνω εφαρμογή είδαμε ότι μεταξύ των σωμάτων $A\Gamma$ και B ασκούνται δυνάμεις ίσου μέτρου παρότι το πρώτο έχει διπλάσιο φορτίο από το δεύτερο. Το μεγάλο φορτίο $q_{A\Gamma}$ ασκεί και μεγάλη δύναμη στο q_B , όπως το περιμέναμε. Από την άλλη το μικρό φορτίο q_B ασκεί μικρότερες δυνάμεις αλλά τις ασκεί σε διπλάσια φορτία, τα q_A και q_Γ , επιτυγχάνοντας έτσι τελικά να ασκεί εξίσου μεγάλη δύναμη στο $A\Gamma$.

Ασκήσεις:

1. Για να καταλάβουμε πόσο τεράστια μονάδα φορτίου είναι το $1C$, ας υποθέσουμε ότι μπορούμε να φορτίσουμε δύο μικρές σφαίρες με φορτίο $1C$ την καθεμία και στη συνέχεια να τις φέρουμε σε απόσταση $1m$ μεταξύ τους. Ποιο θα ήταν το μέτρο των ηλεκτρικών δυνάμεων που ασκούν μεταξύ τους;
2. Φέρνουμε σε απόσταση $6m$ δύο μικρά σφαιρικά σώματα, το σώμα A και το σώμα B , τα οποία έχουν ηλεκτρικά φορτία $4nC$ και $1nC$ αντίστοιχα. Σχεδιάστε και υπολογίστε τις ηλεκτρικές δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ τους.
3. Τα δύο μικρά σώματα A και Γ του σχήματος έχουν αντίθετα φορτία $q_A = 10nC$ και $q_\Gamma = -10nC$ και βρίσκονται κολλημένα μεταξύ τους σε απόσταση $r = 1m$ από το φορτίο $q_B = 1\mu C$.



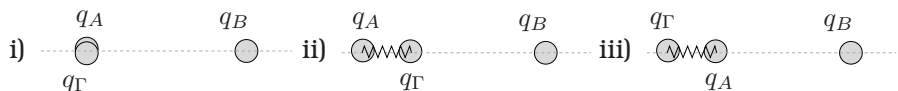
α) Το συσσωμάτωμα $A\Gamma$ και το σώμα B

i) θα έλκονται. ii) θα απωθούνται. iii) δεν θα ασκούν δυνάμεις.

β) Κατά τη γνώμη σας είναι δυνατόν, σε κάποιες περιπτώσεις, ένα σώμα που στο εσωτερικό του περιέχει φορτία να μην ασκεί καθόλου ηλεκτρικές δυνάμεις; Ποιο θα πρέπει να είναι το συνολικό φορτίο του σώματος για να συμβεί αυτό;

4. Τα δύο μικρά σώματα A και Γ έχουν φορτία $q_A = 10nC$ και $q_\Gamma = -10nC$ και είναι μεταξύ τους συνδεδεμένα με ένα μαλακό ελατήριο.

α) Αν φέρουμε κοντά στο συσσωμάτωμα $A\Gamma$ φορτίο $q_B = 1\mu C$ Ποιες θέσεις θα καταλάβουν τα φορτία q_A και q_Γ ;

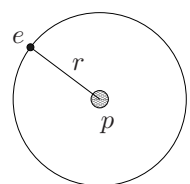


α) Το συσσωμάτωμα $A\Gamma$ και το σώμα B

i) θα έλκονται. ii) θα απωθούνται. iii) δεν θα ασκούν δυνάμεις.

γ) Κατά την γνώμη σας είναι δυνατόν ένα σώμα ενώ έχει συνολικό φορτίο μηδέν, να ασκεί ηλεκτρικές δυνάμεις (δηλαδή είναι ηλεκτρισμένο) όταν φέρουμε κοντά του άλλα φορτία;

5. Το άτομο του υδρογόνου αποτελείται από ένα πρωτόνιο, το οποίο αποτελεί τον πυρήνα του ατόμου, και ένα ηλεκτρόνιο το οποίο περιφέρεται γύρω από αυτόν. Η μεταξύ τους απόσταση είναι $r \simeq 0,5 \cdot 10^{-10}m$ ενώ τα φορτία τους είναι $q_p \simeq 1,6 \cdot 10^{-19}C$ και $q_e \simeq -1,6 \cdot 10^{-19}C$ αντίστοιχα. Υπολογίστε και σχεδιάστε την μεταξύ τους ηλεκτρική δύναμη.



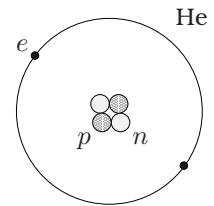
1.4 Το φορτίο μέσα στην ύλη

Πως εμφανίζονται τα φορτία:

Στις προηγούμενες παραγράφους είδαμε ότι για να ασκεί ένα σώμα ηλεκτρικές δυνάμεις σε κάποιο άλλο θα πρέπει να διαθέτει ηλεκτρικό φορτίο. Δεν εξηγήσαμε όμως πως γίνεται όταν τρίψουμε ένα σώμα με κάποιο άλλο, να εμφανίζει ξαφνικά φορτίο. Για να εξηγήσουν οι Φυσικοί την μυστηριώδη εμφάνιση του φορτίου υπέθεσαν ότι το φορτίο πρέπει να είναι κάποια «ουσία» η οποία ήδη υπάρχει μέσα σε όλα τα σώματα και με την τριβή μπορεί να μεταφέρεται από το ένα σώμα στο άλλο. Για να καταλάβουν όμως οι Φυσικοί τι είδους «ουσία» είναι το φορτίο και πως βρέθηκε μέσα σε όλα τα σώματα, χρειάστηκε να περάσουν μερικοί αιώνες έως ότου ανακαλύψουν ποια είναι τα δομικά υλικά από τα οποία αποτελείται η ύλη. Ας δούμε λοιπόν από τι αποτελούνται τα σώματα γύρω μας, για να μπορέσουμε να καταλάβουμε πως μπορεί να εμφανίζεται ή εξαφανίζεται φορτίο σε ένα σώμα.

Η δομή της ύλης:

Όπως μάλλον ήδη γνωρίζετε, κάθε τι που βλέπουμε γύρω μας είναι φτιαγμένο από άτομα τα οποία με την σειρά τους αποτελούνται από τριών ειδών μικροσκοπικά σωματίδια, τα πρωτόνια, τα νετρόνια και τα ηλεκτρόνια. Τα νετρόνια και τα πρωτόνια έλκονται μεταξύ τους με ισχυρές πυρηνικές δυνάμεις, οπότε ενώνονται σχηματίζοντας τον πυρήνα του ατόμου, γύρω από τον οποίο γυρίζουν τα ηλεκτρόνια όπως φαίνεται στο σχήμα. Τα νετρόνια είναι ηλεκτρικά ουδέτερα σωματίδια, δηλαδή δεν έχουν ηλεκτρικό φορτίο, ενώ τα πρωτόνια και τα ηλεκτρόνια έχουν αντίθετα φορτία $q_p = +1,6 \cdot 10^{-19}C$ και $q_e = -1,6 \cdot 10^{-19}C$ αντίστοιχα. Τώρα που θυμηθήκαμε ποια είναι η δομή της ύλης, ας δούμε που κολλάνε οι ηλεκτρικές δυνάμεις.



Εφαρμογή: Τεράστια φορτία, καλά κρυμμένα.

- α) Ποιες είναι οι δυνάμεις που συγκρατούν τα ηλεκτρόνια τόσο κοντά στα πρωτόνια (σε απόσταση $r \simeq 10^{-10}m$);
- β) Χωρίς αυτές τις δυνάμεις θα υπήρχε η ύλη, η Γη, η ζωή;
- γ) Τα άτομα του ηλίου (He) έχουν δύο πρωτόνια στον πυρήνα τους. Πόσα ηλεκτρόνια πιστεύετε ότι έλκονται γύρω από κάθε πυρήνα;
Γιατί όχι περισσότερα;
Ποιο είναι το συνολικό φορτίο ενός ατόμου ηλίου;
- δ) Στο σύμπαν υπάρχουν περίπου εκατό διαφορετικά είδη ατόμων. Ποιο πιστεύετε ότι είναι το συνολικό φορτίο οποιουδήποτε από αυτά;
- ε) Ένας άνθρωπος περιέχει περίπου 10^{28} ηλεκτρόνια. Ποιο είναι το συνολικό φορτίο των ηλεκτρονίων του;
- στ) Πόσα πρωτόνια περιέχει ένας άνθρωπος; Ποιο είναι το συνολικό φορτίο των πρωτονίων του;
- ζ) Πως εξηγείτε ότι δεν έχετε παρατηρήσει ποτέ κάποια αποτελέσματα των γιγάντιων φορτίων που μόλις υπολογίσατε;

Τρόποι ηλέκτρισης:

Τώρα που ανακαλύψαμε που κρυβόταν τα φορτία μέσα στην ύλη, ας δούμε πότε τα φορτία ενός σώματος κάνουν αισθητή την παρουσία τους ασκώντας ηλεκτρικές δυνάμεις σε άλλα σώματα, δηλαδή πότε το σώμα ηλεκτρίζεται. Θα δούμε τρεις τρόπους ηλέκτρισης, την **ηλέκτριση με τριβή**, την **ηλέκτριση με επαφή** και την **ηλέκτριση με επαγωγή**.

1.4.1 Ηλέκτριση με τριβή

Ηλέκτριση με τριβή. Όπως έχουμε δει, όταν τρίβουμε ένα πλαστικό στυλό με ένα μάλλινο ύφασμα τότε και τα δύο σώματα ηλεκτρίζονται. Τι συμβαίνει άραγε στα δύο σώματα κατά την τριβή μεταξύ τους; Όταν τρίβουμε το μάλλινο ύφασμα με το πλαστικό στυλό τα άτομα του πλαστικού έρχονται πολύ κοντά με αυτά του μάλλινου υφάσματος, οπότε κάποια ηλεκτρόνια μπορούν να μετακινηθούν μεταξύ των ατόμων των δύο υλικών. Επειδή όμως το πλαστικό έλκει τα ηλεκτρόνια του πιο δυνατά από το μάλλινο ύφασμα, είναι και πιο «φιλόξενο» για τυχόν ηλεκτρόνια επισκέπτες που προήλθαν από το μάλλινο ύφασμα. Έτσι το πλαστικό προσλαμβάνει επιπλέον ηλεκτρόνια και φορτίζεται αρνητικά, αφού τα αρνητικά ηλεκτρόνια σε αυτό είναι περισσότερα από τα θετικά πρωτόνια. Από την άλλη το μάλλινο ύφασμα χάνει ηλεκτρόνια οπότε φορτίζεται θετικά, αφού τώρα τα πρωτόνια σε αυτό είναι περισσότερα από τα ηλεκτρόνια.

Παραδείγματα υλικών. Όπως καταλαβαίνετε η ανταλλαγή φορτίων συμβαίνει, όχι μόνο όταν τρίβουμε το πλαστικό με το μαλλί, αλλά όποτε τρίβουμε δύο διαφορετικά υλικά με τα ηλεκτρόνια να καταλήγουν στο υλικό στο οποίο τα ηλεκτρόνια είναι πιο ισχυρά συνδεδεμένα στα άτομα τους. Η λίστα που ακολουθεί μας δίνει μερικά παραδείγματα υλικών και την κατεύθυνση προς την οποία ρέουν τα ηλεκτρόνια όταν τρίψουμε δύο από αυτά μεταξύ τους.

Τριβοηλεκτρική σειρά:

$Aμiαντος \xrightarrow{e} Γούνα \text{ κουνεθιού} \xrightarrow{e} Γυαλί \xrightarrow{e} Μαλλί \xrightarrow{e} Γούνα \text{ γάτας} \xrightarrow{e} Μειάξι \xrightarrow{e} Αψουμίτιο \xrightarrow{e} Βαμβάκι \xrightarrow{e} Ξύλο \xrightarrow{e} Κεχρμπάρι \xrightarrow{e} Θείο \xrightarrow{e} Καουτσούκ \xrightarrow{e} Πλαστικό.$

Ας κάνουμε τώρα μια εφαρμογή για να δούμε τι ακριβώς συμβαίνει κατά την ηλέκτριση με τριβή.

Εφαρμογή. Παίρνουμε μια ράβδο από γυαλί και ένα μπαλόνι από καουτσούκ, τα οποία στην αρχή είναι αφόρτιστα.

- α) Ποιο είναι το συνολικό αρχικό φορτίο των δύο σωμάτων $q_{ολ,αρχ}$ προτού τα τρίψουμε;
- β) Στη συνέχεια τρίβουμε τα δύο σώματα μεταξύ τους. Μετά την τριβή ποιο σώμα προσέλαβε ηλεκτρόνια; Ποιο σώμα έχασε ηλεκτρόνια;
- γ) Ποιο σώμα φορτίστηκε θετικά Ποιο αρνητικά;
- δ) Αν το μπαλόνι απέκτησε φορτίο $q_{\mu} = -1,6 \cdot 10^{-9}C$ πόσα ηλεκτρόνια προσέλαβε;
- ε) Πόσα ηλεκτρόνια έχασε η ράβδος; ... Τι φορτίο q_{ρ} απέκτησε η ράβδος; ...
- στ) Ποιο είναι το συνολικό τελικό φορτίο $q_{ολ,τελ}$ των δύο σωμάτων αφού τα τρίψαμε; Θα μπορούσε να διαφέρει από το αρχικό φορτίο $q_{ολ,αρχ}$;
- ζ) Μπορείτε τρίβοντας τα δύο σώματα να φορτίσετε το μπαλόνι με φορτίο $-0,8 \cdot 10^{-19}C$; Πόσα ηλεκτρόνια θα πρέπει να προσλάβει το μπαλόνι;

Η αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου. Όπως είδαμε, το φορτίο q_{ρ} που απέκτησε η ράβδος είναι ακριβώς αντίθετο από το φορτίο q_{μ} που απέκτησε το μπαλόνι, οπότε το συνολικό τελικό φορτίο των δύο σωμάτων $q_{ολ,τελ} = q_{\rho} + q_{\mu}$ ισούται με το συνολικό αρχικό φορτίο $q_{ολ,αρχ}$, δηλαδή $q_{ολ,τελ} = q_{ολ,αρχ}$. Αυτό αποτελεί παράδειγμα μια εξαιρετικά σημαντικής αρχής που

ισχύει παντού στο σύμπαν και ονομάζεται **αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου**. Η αρχή διατήρησης του φορτίου μας λέει ότι το φορτίο στον κόσμο μας δεν γίνεται να αυξηθεί ή να μειωθεί, αλλά είναι καταδικασμένο να παραμείνει για πάντα σταθερό,⁶ δηλαδή

$$q_{ολ,αρχ} = q_{ολ,τελ} \quad (1.2)$$

Η κβάντωση του ηλεκτρικού φορτίου.

Η παραπάνω εφαρμογή μας έδειξε και κάτι ακόμα. Είδαμε ότι η φόρτιση των δύο σωμάτων έγινε γιατί το ένα απέβαλε κάποια ηλεκτρόνια τα οποία προσέλαβε το άλλο. Αυτό σημαίνει ότι το φορτίο κάθε σώματος θα είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του φορτίου του ηλεκτρονίου. Για παράδειγμα, το ένα σώμα μπορεί να προσέλαβε δύο ηλεκτρόνια και να απέκτησε φορτίο $2 \cdot (-1,6 \cdot 10^{-19}C) = -3,2 \cdot 10^{-19}C$ ή να απέβαλε τρία ηλεκτρόνια και να απέκτησε φορτίο $-3 \cdot (-1,6 \cdot 10^{-19}C) = 4,8 \cdot 10^{-19}C$. Είναι όμως αδύνατο ένα σώμα να αποκτήσει φορτίο ενάμιση ηλεκτρονίου $1,5 \cdot (-1,6 \cdot 10^{-19}C) = -2,4 \cdot 10^{-19}C$, καθώς το φορτίο του ηλεκτρονίου είναι το μικρότερο φορτίο που μπορεί να βρεθεί ελεύθερο στη φύση και δεν μπορεί να χωριστεί σε μικρότερα κομμάτια. Η ιδιότητα αυτή του ηλεκτρικού φορτίου να παίρνει τιμές που είναι ακέραια πολλαπλάσια του φορτίου του ηλεκτρονίου ονομάζεται **κβάντωση του ηλεκτρικού φορτίου**.

Ασκήσεις:

1. Τρίβουμε μεταξύ τους ένα αφόρτιστο μάλλινο ύφασμα με ένα επίσης αφόρτιστο κομμάτι κεχριμπάρι.
 - a) Ποιο είναι το συνολικό αρχικό φορτίο των δύο σωμάτων $q_{ολ,αρχ}$ προτού τα τρίψουμε;
 - β) Μετά την τριβή ποιο σώμα προσέλαβε ηλεκτρόνια; Ποιο σώμα έχασε ηλεκτρόνια;
 - γ) Ποιο σώμα φορτίστηκε θετικά. Ποιο αρνητικά;
 - δ) Αν το κεχριμπάρι απέκτησε φορτίο $q_{ρ} = -4,8 \cdot 10^{-9}C$ πόσα ηλεκτρόνια προσέλαβε;
 - ε) Πόσα ηλεκτρόνια έχασε το μάλλινο ύφασμα; Τι φορτίο $q_{μ}$ απέκτησε;
 - στ) Ποιο είναι το συνολικό τελικό φορτίο $q_{ολ,τελ}$ των δύο σωμάτων αφού τα τρίψαμε; Το περιμένατε ίσο με το συνολικό αρχικό φορτίο; Γιατί;
2. Ένας συμμαθητής σας ισχυρίζεται ότι και η μάζα του νερού που έχει μέσα σε ένα ποτήρι είναι κβαντωμένη, δηλαδή είναι πάντα πολλαπλάσιο μιας μικρής μάζας. Ποια είναι αυτή η μικρή μάζα; Γιατί κανείς σας δεν είχε παρατηρήσει την κβάντωση της μάζας του νερού μέχρι σήμερα;
3. Ένας συμμαθητής σας ισχυρίζεται ότι το φορτίο του στυλό του είναι ακριβώς $2 \cdot 10^{-19}C$. Συμφωνείτε;
4. Γιατί η κβάντωση του ηλεκτρικού φορτίου δεν γίνεται αντιληπτή στην καθημερινή μας ζωή;

⁶Υπάρχουν φαινόμενα κατά τα οποία είναι δυνατόν να εξαφανιστούν φορτία από τον κόσμο μας!!! Για παράδειγμα όταν ένα αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόνιο και ένα θετικά φορτισμένο ποζιτρόνιο συναντηθούν, εξαφανίζονται και τα δύο και στην θέση τους εμφανίζεται ένα φωτόνιο το οποίο έχει μηδενικό φορτίο. Ακόμα και σε αυτό το φαινόμενο όμως το συνολικό φορτίο διατηρείται, αφού το ποζιτρόνιο και το ηλεκτρόνιο έχουν ακριβώς αντίθετα φορτία, οπότε το αρχικό συνολικό φορτίο είναι μηδέν, όπως ακριβώς και το τελικό φορτίο του φωτονίου.

1.4.2 Ηλέκτριση με επαφή

Είδαμε ότι μπορούμε να φορτίσουμε δύο σώματα, ακόμα και αν είναι αρχικά αφόρτιστα, αρκεί να τα τρίψουμε ώστε να προκαλέσουμε μετακινήσεις ηλεκτρονίων προς το σώμα στο οποίο έλκονται περισσότερο. Αν όμως έχουμε στην κατοχή μας ένα φορτισμένο σώμα τότε μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε για να φορτίσουμε εύκολα και άλλα σώματα. Ας δούμε ένα παράδειγμα.

Εφαρμογή:
Ηλέκτριση
με επαφή.

Περιστρέψτε την μανιθέλα μιας ηλεκτροστατικής μηχανής Wimshurst, ώστε να φορτιστούν τα δύο ηλεκτρόδια της με ηλεκτρικό φορτίο, και στην συνέχεια πλησιάστε το θετικό ηλεκτρόδιο στην μπάλα από αλουμινόχαρτο ενός ηλεκτρικού εκκρεμούς, προσέχοντας αυτή να μην ακουμπήσει στο ηλεκτρόδιο.

- a) Η μπάλα του ηλεκτρικού εκκρεμούς έλκεται ή απωθείται από το ηλεκτρόδιο ;
.....
- β) Αφήστε την μπάλα του ηλεκτρικού εκκρεμούς να ακουμπήσει πάνω στο ηλεκτρόδιο. Η μπάλα τώρα έλκεται ή απωθείται ; Γιατί ;
- γ) Μπορείτε να εξηγήσετε γιατί κάποια από τα φορτία του ηλεκτροδίου προτιμούν να το εγκαταλείψουν και να μετακομίσουν στο ηλεκτρικό εκκρεμές ; ..
.....
- δ) Αν το ηλεκτρικό εκκρεμές ακούμπησε στο αρνητικό ηλεκτρόδιο, ποια φορτισμένα σωματίδια κινήθηκαν προς ποιο σώμα ;
- ε) Αν το ηλεκτρικό εκκρεμές ακούμπησε στο θετικό ηλεκτρόδιο, ποια φορτισμένα σωματίδια κινήθηκαν προς ποιο σώμα ;

Μακριά και
αγαπημένα.

Όπως είδαμε τα φορτία σε ένα φορτισμένο σώμα, όπως το ηλεκτρόδιο της μηχανής Wimshurst, εξαιτίας της μεταξύ τους ηλεκτρικής άπωσης, προσπαθούν να φύγουν από το σώμα ώστε να απομακρυνθούν όσο γίνεται το ένα από το άλλο. Γιατί όμως τότε τα φορτία της μηχανής Wimshurst δεν απομακρύνονται από αυτήν αμέσως μόλις την φορτίσουμε, σκορπώντας π.χ. στον αέρα ή μέσα στο τραπέζι πάνω στο οποίο ακουμπάει η μηχανή ;

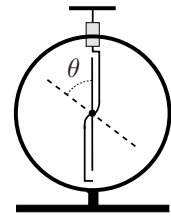
Αγωγοί και
μονωτές.

Ο λόγος είναι ότι κάποια υλικά, όπως π.χ. ο αέρας, το ξύλο, και το πλαστικό, δεν επιτρέπουν στα φορτία να κινηθούν στο εσωτερικό τους, οπότε, όσο και να απωθούνται μεταξύ τους τα φορτία, δεν μπορούν να απομακρυνθούν κινούμενα μέσα σε αυτά τα υλικά. Τέτοια υλικά ονομάζονται **ηλεκτρικοί μονωτές**. Από την άλλη, υπάρχουν υλικά τα οποία επιτρέπουν την σχεδόν ελεύθερη κίνηση των φορτίων στο εσωτερικό τους και ονομάζονται **ηλεκτρικοί αγωγοί**. Τέτοια υλικά είναι για παράδειγμα τα μέταλλα όπως το αλουμίνιο, ο σίδηρος, ο χαλκός, ο χρυσός κ.τ.λ.⁷ Μερικά πειράματα με την βοήθεια ενός ηλεκτροσκοπίου θα μας βοηθήσουν να καταλάβουμε τις διαφορές αγωγών και μονωτών.

⁷Στα υλικά αυτά, τα ηλεκτρόνια εκείνα που βρίσκονται μακριά από τον πυρήνα του ατόμου είναι ασθενέστερα συνδεδεμένα στο άτομο, οπότε μπορούν εύκολα να μετακινηθούν μεταπηδώντας στο γειτονικό άτομο. Λόγω της ελευθεριάζουσας αυτής συμπεριφοράς τους, τα ηλεκτρόνια αυτά ονομάζονται και ελεύθερα ηλεκτρόνια. Στα υλικά που είναι μονωτές αντίθετα, ακόμα και τα πιο απομακρυσμένα ηλεκτρόνια έλκονται αρκετά ισχυρά από τον πυρήνα ώστε να μην μπορούν να μεταπηδήσουν σε γειτονικά άτομα και άρα να δεν μπορούν να μετακινηθούν.

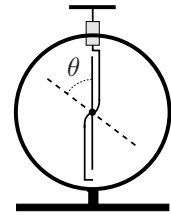
Εφαρμογή:
Σύγκριση
αγωγών και
μονωτών.

- α) Φορτίστε την μηχανή Wimshurst και στην συνέχεια συνδέστε το αρνητικό ηλεκτρόδιο της μηχανής με ένα ηλεκτροσκόπιο χρησιμοποιώντας ένα χάλκινο σύρμα. Μπορείτε να εξηγήσετε γιατί κινήθηκε το ένα σκέλος του ηλεκτροσκοπίου;



.....

- β) Επαναλάβετε το πείραμα αλλά αυτή την φορά συνδέστε το θετικό ηλεκτρόδιο με το ηλεκτροσκόπιο. Μπορείτε να εξηγήσετε γιατί κινήθηκε το ένα σκέλος του ηλεκτροσκοπίου;



.....

- γ) Επαναλάβετε το πείραμα αλλά αυτή την φορά συνδέστε ένα ηλεκτρόδιο της μηχανής Wimshurst με το ηλεκτροσκόπιο χρησιμοποιώντας ένα πλαστικό καλαμάκι. Κινήθηκε το σκέλος του ηλεκτροσκοπίου; Μπορείτε να εξηγήσετε γιατί;

.....

Ας λύσουμε τώρα μερικές ασκήσεις για να χαλαρώσουμε.

Ασκήσεις:

1. Ακουμπάμε μια αφόρτιστη αλουμινένια σφαίρα A με μια όμοια αλουμινένια σφαίρα B με φορτίο $-20nC$.
 - α) Τι είδους σωματίδια θα ανταλλάξουν τα δύο σώματα;
 - β) Ποιο θα είναι το φορτίο κάθε σφαίρας μετά την επαφή;
 - γ) Ποιο θα είναι το συνολικό φορτίο των δύο σφαιρών μετά την επαφή;
2. Ακουμπάμε μια αφόρτιστη αλουμινένια σφαίρα A με μια όμοια σφαίρα B με φορτίο $20nC$.
 - α) Τι είδους σωματίδια θα ανταλλάξουν τα δύο σώματα;
 - β) Ποιο θα είναι το φορτίο κάθε σφαίρας μετά την επαφή;
 - γ) Ποιο θα είναι το συνολικό φορτίο των δύο σφαιρών μετά την επαφή;
3. Ακουμπάμε σε ένα σημείο μιας πλαστικής μπάλας A μια αλουμινένια μπάλα B με φορτίο $-20nC$.
 - α) Τι είδους σωματίδια θα ανταλλάξουν τα δύο σώματα;
 - β) Ποια από τις δύο σφαίρες πιστεύετε ότι θα έχει περισσότερο φορτίο μετά την επαφή;

- γ) Ποιο θα είναι το συνολικό φορτίο των δύο σφαιρών μετά την επαφή;
4. Ακουμπάμε δύο όμοιες αλουμινένιες σφαίρες A και B που είναι αρχικά φορτισμένες με φορτία 20nC και -20nC αντίστοιχα. Ποιο θα είναι το φορτίο της κάθε σφαίρας μετά την επαφή;
5. Ακουμπάμε δύο όμοιες αλουμινένιες σφαίρες A και B που είναι αρχικά φορτισμένες με φορτία 50nC και -20nC αντίστοιχα. Ποιο θα είναι το φορτίο της κάθε σφαίρας μετά την επαφή;
6. Ακουμπάμε σε ένα σημείο μια μεγάλη αφόρτιστη αλουμινένια σφαίρα A με μια μικρότερη αλουμινένια σφαίρα B με φορτίο 30nC .
- α) Ποια από τις δύο σφαίρες θα έχει μεγαλύτερο φορτίο μετά την επαφή;
- β) Ποιο θα είναι το συνολικό φορτίο των δύο σφαιρών μετά την επαφή;
7. Φορτίζουμε την μηχανή Wimshurst και στην συνέχεια ακουμπάμε το αρνητικό ηλεκτρόδιο της μηχανής σε ένα ηλεκτροσκόπιο.
- α) Τι θα κάνουν τα σκέλη του ηλεκτροσκοπίου;
- β) Τι θα κάνουν τα σκέλη του ηλεκτροσκοπίου όταν απομακρύνουμε την ηλεκτροστατική μηχανή;
- γ) Στη συνέχεια αγγίζουμε με το χέρι μας το πάνω μέρος του ηλεκτροσκοπίου. Τι θα κάνουν τα σκέλη του;

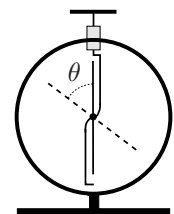
1.4.3 Ηλέκτριση με επαγωγή

Ηλέκτριση εξ' αποστάσεως!

Στο πρώτο μας πείραμα στις ηλεκτρικές δυνάμεις, φορτίσαμε ένα πλαστικό στυλό τρίβοντας το σε μάλλινο ύφασμα και είδαμε ότι ασκούσε ηλεκτρικές δυνάμεις σε μικρά κομματάκια χαρτιού. Όμως, αφού τα κομματάκια του χαρτιού ήταν αφόρτιστα, πως γίνεται να ασκούν ηλεκτρικές δυνάμεις όταν πλησιάζει σε αυτά το φορτισμένο στυλό; Το ίδιο ακριβώς συνέβη και όταν φέραμε το ηλεκτρικό εκκρεμές κοντά στο φορτισμένο ηλεκτρόδιο της μηχανής Wimshurst, οπότε είδαμε ότι η αφόρτιστη μπάλα ασκεί ηλεκτρικές δυνάμεις στο ηλεκτρόδιο. Για να καταλάβουμε πως είναι δυνατόν ένα αφόρτιστο σώμα, όπως ένα χαρτάκι ή η μπάλα ενός ηλεκτροσκοπίου, να ηλεκτρίζονται όταν βρίσκονται κοντά σε κάποιο φορτισμένο σώμα ας κάνουμε ένα ακόμα πείραμα.

Εφαρμογή:
Ηλέκτριση με επαγωγή.

- α) Φορτίστε την ηλεκτροστατική μηχανή Wimshurst και στην συνέχεια πλησιάστε (χωρίς να το ακουμπήσετε) το θετικό ηλεκτρόδιο της μηχανής στο πάνω μέρος ενός ηλεκτροσκοπίου. Σε ποιο μέρος του ηλεκτροσκοπίου πιστεύετε ότι θα προτιμούν τώρα να βρίσκονται τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του ηλεκτροσκοπίου; Πιστεύετε ότι θα μετακομίσουν όλα εκεί; Τι φορτίο θα αποκτήσει το κάτω μέρος του ηλεκτροσκοπίου; Σχεδιάστε την κατανομή των φορτίων στο σχήμα. Γιατί απομακρύνονται τα σκέλη του ηλεκτροσκοπίου;
-
-
-
-

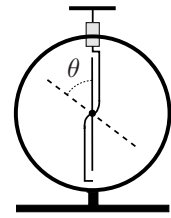


β) Επαναλάβετε το πείραμα αλλά αυτή τη φορά πλησιάστε το αρνητικό ηλεκτρόδιο της μηχανής στο ηλεκτροσκόπιο . Σχεδιάστε την κατανομή των φορτίων στο σχήμα. Γιατί απομακρύνονται τα σκέλη του ηλεκτροσκοπίου

.....

.....

.....



γ) Στα παραπάνω πειράματα ασκούνται ηλεκτρικές δυνάμεις μεταξύ του ηλεκτροσκοπίου και του ηλεκτροδίου ; Το ηλεκτροσκόπιο είναι ηλεκτρισμένο ; Το ηλεκτροσκόπιο είναι φορτισμένο ;

δ) Πλησιάστε το θετικό ηλεκτρόδιο της μηχανής στην αφόρτιστη αλουμινένια μπάλα ενός ηλεκτρικού εκκρεμούς. Σχεδιάστε την κατανομή των φορτίων στην μπάλα. Μπορείτε να εξηγήσετε γιατί έλκεται το εκκρεμές ενώ είναι αφόρτιστο ;

.....

.....

.....

ε) Πλησιάστε το θετικό ηλεκτρόδιο της μηχανής στην αφόρτιστη πλαστική μπάλα ενός ηλεκτρικού εκκρεμούς. Σχεδιάστε την κατανομή των φορτίων στην μπάλα. Μπορείτε να εξηγήσετε γιατί έλκεται το εκκρεμές ενώ είναι αφόρτιστο ;

.....

.....

.....

Ασκήσεις :

1. Πλησιάζουμε την αφόρτιστη μπάλα από αλουμινοχαρτο του ηλεκτρικού εκκρεμούς στο αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο την μηχανής Wimshurst.
 - α) Σχεδιάστε την μπάλα και το φορτισμένο ηλεκτρόδιο και σημειώστε την κατανομή των φορτίων.
 - β) Η μπάλα θα έλκεται ή θα απωθείται από το ηλεκτρόδιο ;
2. Στο πρώτο μας πείραμα είδαμε ότι εάν τρίψουμε ένα πλαστικό στυλό με μάλλινο ύφασμα τότε αυτό να έλκει μικρά κομματάκια χαρτιού. Πως εξηγείτε τις ελκτικές ηλεκτρικές δυνάμεις αφού τα χαρτάκια είναι αφόρτιστα ; (Σχεδιάστε.)
3. Φορτίζουμε την ηλεκτροστατική μηχανή Wimshurst και στην συνέχεια πλησιάζουμε το θετικό ηλεκτρόδιο της μηχανής πολύ κοντά στο πάνω μέρος ενός ηλεκτροσκοπίου χωρίς αυτά να ακουμπήσουν.
 - α) Τι θα κάνουν τα σκέλη του ηλεκτροσκοπίου ;

- β) Πριν ακόμα απομακρύνουμε την ηλεκτροστατική μηχανή πιάνουμε με το χέρι μας το πάνω μέρος του ηλεκτροσκοπίου και παρατηρούμε ότι τα σκέλη του ηλεκτροσκοπίου επανέρχονται στην θέση ισορροπίας τους. Μπορείτε να εξηγήσετε γιατί;
- γ) Στη συνέχεια απομακρύνουμε το χέρι μας και κατόπιν και την ηλεκτροστατική μηχανή και παρατηρούμε ότι τα σκέλη του ηλεκτροσκοπίου απομακρύνονται και πάλι. Μπορείτε να εξηγήσετε γιατί;
4. Είχατε πάντα το όνειρο να παρακολουθήσετε ένα μάθημα φυσικής από έναν κορυφαίο πανεπιστημιακό δάσκαλο, σε ένα από τα κορυφαία πανεπιστήμια του κόσμου; Στον παρακάτω σύνδεσμο μπορείτε να παρακολουθήσετε το εισαγωγικό μάθημα στον ηλεκτρισμό από τον καθηγητή Walter Lewin στο πανεπιστήμιο MIT (Massachusetts Institute of Technology). Θα διαπιστώσετε ότι θα καταλάβετε, σχεδόν, τα πάντα!!!
- <https://www.youtube.com/watch?v=Lx64cq0HeXY>

Κεφάλαιο 2

Ηλεκτρικό ρεύμα

2.1 Εισαγωγή

Το Ηλεκτρικό ρεύμα στη ζωή μας. Μπορεί οι ηλεκτρικές δυνάμεις να μην σας είχαν απασχολήσει ποτέ πριν από το φετινό μάθημα της Φυσικής, αλλά σίγουρα όλοι έχετε ακούσει για το ηλεκτρικό ρεύμα. Μάλιστα οπωσδήποτε το έχετε χρησιμοποιήσει για να βάλετε σε λειτουργία διάφορες ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές που χρησιμοποιούμε, όπως τα φώτα, το φούρνο, το ψυγείο, το πλυντήριο κ.τ.λ. Την σημασία του ηλεκτρικού ρεύματος στην καθημερινή σας ζωή σίγουρα την έχετε αντιληφθεί, κυρίως κατά την διάρκεια κάποιας διακοπής ρεύματος.

Το ηλεκτρικό ρεύμα και ο σύγχρονος πολιτισμός. Όμως η σημασία του ηλεκτρικού ρεύματος στη ζωή μας ξεπερνάει κατά πολύ τις ευκολίες που μας παρέχουν οι οικιακές ηλεκτρικές συσκευές. Χωρίς το ηλεκτρικό ρεύμα δεν θα υπήρχαν τα περισσότερα διαγνωστικά μηχανήματα που χρησιμοποιούνται στην ιατρική, η επικοινωνία μας με τον κόσμο θα περιοριζόταν δραματικά αφού δεν θα υπήρχε η τηλεόραση, το τηλέφωνο ή το διαδίκτυο. Δεν θα υπήρχε ο κινηματογράφος και δεν θα μπορούσαμε να ακούμε μουσική παρά μόνο σε συναυλίες. Δεν θα υπήρχαν οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, οπότε, μεταξύ πολλών άλλων, θα ήταν αδύνατο να στείλουμε άνθρωπο στο διάστημα, δεν θα υπήρχαν τα tablet, τα κινητά τηλέφωνα, το facebook ή το messenger. Η απόλυτη καταστροφή δηλαδή ☹️.

Τι είναι το ηλεκτρικό ρεύμα; Τι είναι όμως τελικά το ηλεκτρικό ρεύμα; Τίποτα διαφορετικό από αυτό που μας λέει το όνομα του. Όπως ακριβώς το ρεύμα ενός ποταμού σχετίζεται με την οργανωμένη κίνηση του νερού μέσα στην κοίτη του ποταμού, έτσι ακριβώς και το ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα καλώδιο σχετίζεται με την οργανωμένη κίνηση ηλεκτρικών φορτίων μέσα στο καλώδιο προς την ίδια κατεύθυνση, δηλαδή

► **Ηλεκτρικό ρεύμα** ονομάζουμε την προσανατολισμένη κίνηση των ηλεκτρονίων ή γενικότερα των φορτισμένων σωματιδίων.

Γιατί μας χρειάζεται το ηλεκτρικό ρεύμα; Ποιος είναι όμως ο λόγος που η λάμπα σε ένα φακό χρειάζεται ηλεκτρικό ρεύμα για να ανάψει; Τα κινούμενα ηλεκτρόνια με τα οποία τροφοδοτείται η λάμπα μέσω των καλωδίων, δεν είναι τίποτα άλλο παρά αχθοφόροι που κουβαλούν ενέργεια από την μπαταρία στην λάμπα. Ομοίως όταν ανοίγουμε τον ανεμιστήρα στο δωμάτιο μας, το ηλεκτρόνια που κινούνται μέσα στα καλώδια δεν κάνουν τίποτα άλλο από το να **μεταφέρουν ενέργεια** από το εργοστάσιο της ΔΕΗ στον ανεμιστήρα μας.

Προσεχώς. Στην συνέχεια του κεφαλαίου αυτού, θα περιγράψουμε τι ακριβώς είναι το ρεύμα, που και πότε δημιουργείται, από τι εξαρτάται και ποια είναι τα αποτελέσματα

που προκαλεί. Θα ορίσουμε τα φυσικά μεγέθη που μας χρειάζονται για να περιγράψουμε όλα τα παραπάνω ποσοτικά και θα ανακαλύψουμε τις μαθηματικές σχέσεις, τους νόμους δηλαδή, που συνδέουν τα παραπάνω φυσικά μεγέθη.

2.2 Το ηλεκτρικό ρεύμα

Στην εισαγωγή αποκαλύψαμε τι είναι το ηλεκτρικό ρεύμα αλλά δεν είπαμε μέσα σε ποια υλικά μπορεί να δημιουργηθεί, πότε και γιατί δημιουργείται και από τι επηρεάζεται το ρεύμα που διαρρέει ένα σώμα. Ας ξεκινήσουμε αναζητώντας τα υλικά μέσα στα οποία είναι δυνατόν να δημιουργήσουμε ηλεκτρικό ρεύμα.

Αγωγοί, μονωτές και ρεύμα.

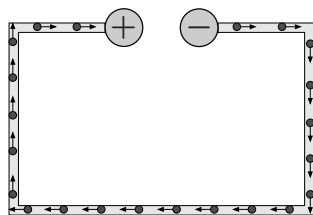
Στο πρώτο κεφάλαιο είδαμε ότι, τα υλικά χωρίζονται σε δύο κυρίως κατηγορίες, τους ηλεκτρικούς αγωγούς και τους ηλεκτρικούς μονωτές. Στους αγωγούς κάποια από τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται στο εσωτερικό τους μπορούν να κινηθούν σχεδόν ελεύθερα, ενώ αντίθετα στους μονωτές τα ηλεκτρόνια δεν μπορούν να κινηθούν. Όπως λοιπόν καταλαβαίνετε, τα υλικά μέσα στα οποία έχουμε ελπίδες να δημιουργήσουμε ηλεκτρικό ρεύμα είναι οι αγωγοί όπως π.χ. ο χαλκός, το αλουμίνιο κ.τ.λ.,¹ οπότε για αρχή θα επιχειρήσουμε να δημιουργήσουμε ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα χάλκινο καλώδιο.

Πως θα πείσουμε τα ηλεκτρόνια να κινηθούν;

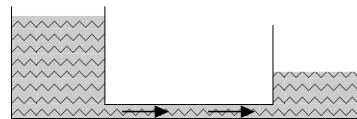
Τώρα που βρήκαμε το υλικό που θα χρησιμοποιήσουμε θα πρέπει να ανακαλύψουμε και ένα τρόπο να πείσουμε τα ηλεκτρόνια στο εσωτερικό του καλωδίου να κινηθούν όλα μαζί προς την ίδια κατεύθυνση. Ευτυχώς, έχουμε ήδη βρει τον τρόπο για να κάνουμε τα ηλεκτρόνια να κινηθούν προς την ίδια κατεύθυνση όταν μελετήσαμε την ηλεκτρίση με επαφή. Ας το θυμηθούμε κάνοντας ένα τελευταίο πείραμα με την μηχανή Wimshurst.

Απομακρύνετε τα ηλεκτρόδια της μηχανής Wimshurst και στην συνέχεια περιστρέψτε τη μηχανή ώστε να φορτιστούν τα δύο ηλεκτρόδια της με αντίθετα φορτία.

- α) Συνδέστε τώρα τα δύο ηλεκτρόδια με ένα αγώγιμο καλώδιο. Παραμένουν φορτισμένα τα ηλεκτρόδια αφού τα συνδέσετε;
- β) Ποια φορτία κινήθηκαν και προς τα που;
- γ) Η κίνηση αυτή των ηλεκτρονίων αποτελεί ηλεκτρικό ρεύμα;



(α) Τα ηλεκτρόνια απωθούνται από το αρνητικό άκρο του καλωδίου και έλκονται προς το θετικό οπότε δημιουργείται ηλεκτρικό ρεύμα.



(β) Το νερό κινείται από τα σημεία υψηλής πίεσης, στο αριστερό μέρος του σωλήνα, προς τα σημεία χαμηλής πίεσης, στο δεξί μέρος του σωλήνα, δημιουργώντας έτσι ρεύμα νερού.

Σχήμα 2.1: Δύο απλές διατάξεις στις οποίες δημιουργείται ηλεκτρικό ρεύμα και ρεύμα νερού αντίστοιχα.

Ασκήσεις:

¹Γι' αυτό άλλωστε και τα καλώδια όλων σχεδόν των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων είναι φτιαγμένα από χαλκό που είναι ηλεκτρικός αγωγός.

1. Κατά την γνώμη σας το καλώδιο θα διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα για μεγάλο χρονικό διάστημα; Ποια θα είναι η κατανομή των φορτίων στην διάταξη όταν η ροή των φορτίων σταματήσει;
2. Ποιο ήταν το συνολικό φορτίο της διάταξης αρχικά; Ποιο είναι το συνολικό φορτίο όταν το ρεύμα έχει σταματήσει; Για να διαρρέεται μια διάταξη με ηλεκτρικό ρεύμα θα πρέπει να είναι φορτισμένη; Θα πρέπει να είναι ηλεκτρισμένη;
3. Το καλώδιο που χρησιμοποιήσαμε είναι φτιαγμένο από χαλκό ενώ γύρω περιβάλλεται από κάποιο πλαστικό. Ποιος είναι ο ρόλος του πλαστικού περιβλήματος;

**Σύγκριση
ρεύματος
φορτίων και
ρεύματος
νερού.**

Όπως είδαμε για να δημιουργήσουμε ρεύμα μέσα στο καλώδιο δεν έχουμε παρά να συγκεντρώσουμε στο ένα άκρο του καλωδίου θετικά φορτία και στο άλλο αρνητικά, οπότε τα ηλεκτρόνια του καλωδίου θα κινηθούν από τον αρνητικό προς το θετικό άκρο, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1α'. Η ροή των ηλεκτρονίων μέσα στο καλώδιο είναι σε απόλυτη αντιστοιχία με την ροή του νερού που δημιουργείται μέσα στον σωλήνα της δεύτερης διάταξης που φαίνεται στο σχήμα 2.1β' όπου το νερό θα κινηθεί από την πάνω προς την κάτω δεξαμενή. Όπως ακριβώς οι ηλεκτρικές δυνάμεις αναγκάζουν τα ηλεκτρόνια να κινηθούν από το αρνητικό άκρο του καλωδίου προς το θετικό έτσι ακριβώς και οι βαρυτικές δυνάμεις αναγκάζουν το νερό να κινηθεί από τα σημεία υψηλής πίεσης προς τα σημεία χαμηλής πίεσης. Θα χρησιμοποιήσουμε παρακάτω την αντιστοιχία αυτή μεταξύ της υδραυλικής και της ηλεκτρικής διάταξης για να καταλάβουμε ευκολότερα τα φαινόμενα που εμφανίζονται στις ηλεκτρικές διατάξεις.

**Από τι
εξαρτάται
το ρεύμα;**

Αφού ανακαλύψαμε που και πότε δημιουργείτε ηλεκτρικό ρεύμα, ας αναζητήσουμε τώρα τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται το ρεύμα που δημιουργείται στο καλώδιο, τους παράγοντες δηλαδή που καθορίζουν πότε έχουμε μεγάλη ροή φορτίων στο καλώδιο και πότε μικρή. Θα ξεκινήσουμε μελετώντας την υδραυλική διάταξη, όπου τα συμπεράσματα εξάγονται πιο εύκολα, και στην συνέχεια θα εξετάσουμε την ηλεκτρική διάταξη.

- a) Οι δύο υδραυλικές διατάξεις που φαίνονται στο σχήμα 2.2 που ακολουθεί, διαφέρουν μόνο στην στάθμη του νερού που βρίσκεται στην πρώτη δεξαμενή.. Σε ποια από τις δύο θα δημιουργηθεί μεγαλύτερη ροή νερού;

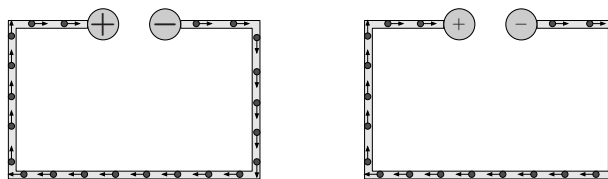


Σχήμα 2.2: Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά ύψους μεταξύ των δύο δεξαμενών τόσο μεγαλύτερη είναι και η διαφορά πίεσης στα δύο άκρα του σωλήνα, οπότε έχουμε και μεγαλύτερη ροή νερού.

- β) Οι δύο ηλεκτρικές διατάξεις, του σχήματος 2.3, διαφέρουν στην ποσότητα ηλεκτρικού φορτίου που είναι συγκεντρωμένη στα άκρα του καλωδίου. Σε ποια από τις δύο θα δημιουργηθεί μεγαλύτερη ροή φορτίων;

**Μεγαλύτερο
αίτιο προκαλεί
μεγαλύτερο
ρεύμα.**

Τα παραπάνω παραδείγματα μας οδηγούν στο λογικότερο συμπέρασμα ότι το ρεύμα είναι μεγαλύτερο όταν είναι μεγαλύτερο και το αίτιο που το προκαλεί.



Σχήμα 2.3: Όσο μεγαλύτερο είναι το φορτίο που βρίσκεται συγκεντρωμένο στα άκρα του καλωδίου τόσο μεγαλύτερες είναι οι δυνάμεις που ασκούνται στα ηλεκτρόνια του αγωγού, οπότε έχουμε και μεγαλύτερη ροή ηλεκτρονίων.

Ασκήσεις :

1. Τρυπάμε στο κάτω μέρος τους δύο κουβάδες και στην συνέχεια περνάμε στην τρύπα ένα σωλήνα ώστε να αποτελέσουν ένα ζεύγος συγκοινωνούντων δοχείων. Γεμίζουμε στην συνέχεια τους δύο κουβάδες με ίδια ποσότητα νερού.
 - α) Σε αυτή την κατάσταση ο σωλήνας διαρρέεται από νερό ;
 - β) Στην συνέχεια σηκώνουμε τον ένα μόνο κουβά κατά ένα μέτρο. Θα δημιουργηθεί τώρα ρεύμα νερού ;
 - γ) Τι προσφέραμε στη διάταξη για να προκαλέσουμε ροή νερού ;
 - δ) Τι απέγινε η ενέργεια που προσφέραμε όταν τελικά το νερό ακινητοποιήθηκε ;

2. Περιστρέφουμε για αρκετή ώρα την μανιβέλα μιας μηχανής Wimshurst και στην συνέχεια συνδέουμε τα ηλεκτρόδια με ένα χάλκινο καλώδιο.
 - α) Θα δημιουργηθεί ηλεκτρικό ρεύμα μέσα στο καλώδιο ;
 - β) Θα δημιουργούνται ηλεκτρικό ρεύμα εάν προηγουμένως δεν είχαμε περιστρέψει την μανιβέλα ;
 - γ) Τι προσφέραμε στην ηλεκτρική διάταξη περιστρέφοντας την μανιβέλα ;
 - δ) Τι απέγινε η ενέργεια που προσφέρατε όταν τελικά το ηλεκτρικό ρεύμα σταματήσει ;

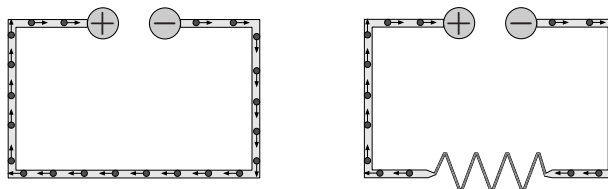
Όπως μάλλον υποπτεύεστε, το ρεύμα εξαρτάται και από κάποιον άλλον παράγοντα εκτός από τα φορτία στα άκρα του καλωδίου. Ας δούμε και πάλι κάποια παραδείγματα για να ανακαλύψουμε ποιος είναι αυτός.

- α) Οι δύο υδραυλικές διατάξεις που φαίνονται στο σχήμα 2.4 που ακολουθεί, είναι πανομοιότυπες αλλά ο σωλήνας στην δεύτερη διάταξη σε κάποιο σημείο του έχει μαζέψει άλατα με αποτέλεσμα να έχει γίνει στενός και με τραχιά επιφάνεια. Σε ποια από τις δύο διατάξεις πιστεύετε ότι το νερό συναντά μεγαλύτερη αντίσταση ; Σε ποια από τις δύο διατάξεις θα δημιουργηθεί μεγαλύτερη ροή νερού ;

- β) Οι δύο ηλεκτρικές διατάξεις του σχήματος 2.5 που ακολουθεί είναι πανομοιότυπες, αλλά το καλώδιο της δεύτερης διάταξης σε κάποιο τμήμα του είναι ιδιαίτερα στενό και είναι φτιαγμένο από υλικό το οποίο παρουσιάζει αυξημένη αντίσταση στην κίνηση των ηλεκτρονίων. Σε ποια από τις δύο διατάξεις θα δημιουργηθεί μεγαλύτερο ηλεκτρικό ρεύμα ;



Σχήμα 2.4: Όσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση που παρουσιάζει ο σωλήνας στην ροή του νερού, π.χ. λόγω μικρής διατομής, τραχιάς επιφάνειας κ.τ.λ., τόσο μικρότερη θα είναι η ροή του νερού.



Σχήμα 2.5: Όσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση που παρουσιάζει το καλώδιο τόσο μικρότερο θα είναι το ηλεκτρικό ρεύμα.

Μεγαλύτερη αντίσταση προκαλεί μικρότερο ρεύμα. Τα παραπάνω παραδείγματα μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το ρεύμα γίνεται μικρότερο όσο μεγαλύτερη γίνεται η αντίσταση του καλωδίου.

Ασκήσεις:

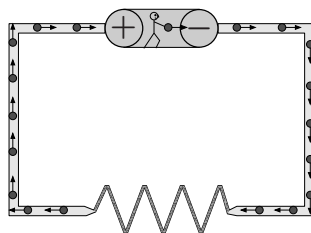
1. Όπως έχουμε ήδη πει τα περισσότερα καλώδια είναι κατασκευασμένα από χαλκό. Γιατί κατά την γνώμη σας δεν τα κατασκευάζουν από το πολύ φθηνότερο σίδηρο;
2. Αν κόψουμε με έναν κόφτη το καλώδιο της παραπάνω διάταξης θα είναι δυνατή η δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος; Τι φορτία πιστεύετε ότι θα συγκεντρωθούν στα άκρα του κομμένου καλωδίου;

Ρεύμα διαρκείας: Δυστυχώς, τόσο το ηλεκτρικό ρεύμα όσο και το ρεύμα του νερού που καταφέραμε να δημιουργήσουμε σε όλες τις παραπάνω διατάξεις θα διατηρηθεί για μικρό μόνο χρονικό διάστημα. Η ροή του νερού θα σταματήσει όταν εξισωθούν οι στάθμες του νερού στις δύο δεξαμενές της υδραυλικής διάταξης, ενώ το ηλεκτρικό ρεύμα τα σταματήσει όταν μετακινηθούν αρκετά ηλεκτρόνια ώστε τα άκρα της ηλεκτρικής διάταξης να γίνουν ουδέτερα. Τι θα μπορούσαμε να κάνουμε άραγε για να πετύχουμε ρεύμα σταθερό για μεγάλο χρονικό διάστημα; Θα αρχίσουμε και πάλι με την περίπτωση της υδραυλικής διάταξης που μας είναι πιο οικεία, και στη συνέχεια θα γενικεύσουμε τα συμπεράσματα μας και στην ηλεκτρική διάταξη.

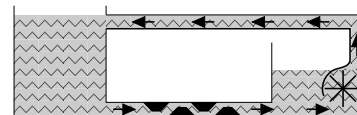
- a) Πως θα μεταβαλλόταν η ροή του νερού μέσα στον σωλήνα εάν με κάποιο τρόπο καταφέραμε να εξασφαλίσουμε ότι η στάθμη του νερού στις δύο δεξαμενές της διάταξης του σχήματος 2.4 παραμένει σταθερή;
- β) Γνωρίζετε κάποια συσκευή η οποία μπορεί να μεταφέρει το νερό από την κάτω στην πάνω δεξαμενή, ώστε να διατηρεί τη στάθμη του νερού σταθερή;
- γ) Η αντλία δημιουργεί το νερό που διαρρέει την διάταξη; Τι είναι αυτό που προσφέρει η αντλία στο νερό της διάταξης 2.6β' ώστε να εξασφαλίζεται σταθερή ροή νερού;

Ας δούμε τώρα τι πρέπει να κάνουμε για να πετύχουμε σταθερό ρεύμα στην ηλεκτρική διάταξη του σχήματος 2.5.

- α) Πως θα μεταβάλλονταν το ηλεκτρικό ρεύμα μέσα στο καλώδιο εάν με κάποιο τρόπο εξασφαλίζαμε ότι το θετικό και το αρνητικό φορτίο στα άκρα του καλωδίου της διάταξης του σχήματος 2.5 παρέμεναν σταθερά;
- β) Ποια συσκευή εξασφαλίζει σταθερό ρεύμα στο λαμπάκι ενός φακού; Ποια πιστεύετε ότι είναι η κατανομή των φορτίων στα άκρα της μπαταρίας ώστε να εξασφαλίζει σταθερό ρεύμα στο λαμπάκι;
- γ) Η μπαταρία δημιουργεί τα ηλεκτρόνια που διαρρέουν το κύκλωμα; Τι προσφέρει η μπαταρία στα ηλεκτρόνια που βρίσκονται στο εσωτερικό της ώστε να διατηρείται σταθερή η συγκέντρωση φορτίων στα άκρα της;
- δ) Πως ονομάζουν οι Φυσικοί κάθε συσκευή που μετατρέπει κάποια μορφή ενέργειας π.χ. χημική, κινητική, κ.τ.λ., σε ηλεκτρική;
- ε) Το θετικό άκρο μιας ηλεκτρικής πηγής ονομάζεται θετικός και το αρνητικό άκρο αρνητικός
- στ) Μια ηλεκτρική διάταξη σαν αυτή του σχήματος 2.6α' η οποία σχηματίζει μια κλειστή διαδρομή στην οποία μπορούν να κινούνται τα φορτία ονομάζεται ηλεκτρικό



(α) Η πηγή δίνει ενέργεια στα ηλεκτρόνια που βρίσκονται στο εσωτερικό της, αναγκάζοντας τα να μεταφερθούν από το θετικό άκρο του καλωδίου προς το αρνητικό. Με τον τρόπο αυτό τα φορτία στα άκρα του καλωδίου παραμένουν σταθερά και το καλώδιο διαρρέεται από σταθερό ηλεκτρικό ρεύμα.



(β) Η αντλία δίνει ενέργεια στο νερό που βρίσκεται στο εσωτερικό της, αναγκάζοντας το να ανεβεί στην πάνω δεξαμενή. Με τον τρόπο αυτό η στάθμη του νερού στις δύο δεξαμενές παραμένει σταθερή δημιουργώντας έτσι σταθερό ρεύμα νερού.

Σχήμα 2.6: Δύο απλές διατάξεις στις οποίες προκαλείται σταθερή ροή ηλεκτρικού ρεύματος και ρεύματος νερού αντίστοιχα.

Ασκήσεις:

1. Σε τι μορφή μετατρέπεται τελικά η ενέργεια που παρέχει η πηγή στο ηλεκτρικό κύκλωμα του σχήματος 2.6α'; Σε ποιο τμήμα του κυκλώματος πραγματοποιείται κυρίως η μετατροπή αυτή;
2. Ποια ηλεκτρική πηγή προκαλεί το ηλεκτρικό ρεύμα στο φούρνο σας; Στο λαμπάκι ενός φακού; Ποια μορφή ενέργειας μετατρέπει κάθε ηλεκτρική πηγή σε ηλεκτρική; Σε τι μορφή μετατρέπεται στον φούρνο και στον φακό;

2.3 Ποσοτική περιγραφή του ηλεκτρικού κυκλώματος

Ποια είναι τα φυσικά μεγέθη του ηλεκτρικού κυκλώματος.

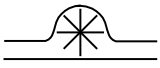
Στην προηγούμενη ενότητα περιγράψαμε ποιοτικά το απλό ηλεκτρικό κύκλωμα του σχήματος 2.6α' και είδαμε πως και γιατί δημιουργείται το ηλεκτρικό ρεύμα και από τι αυτό εξαρτάται. Όπως όμως μάλλον φαντάζεστε, οι Φυσικοί δεν αρκέστηκαν στην ποιοτική περιγραφή του ηλεκτρικού κυκλώματος, αλλά όρισαν τα φυσικά μεγέθη που χρειάζονται για να το περιγράψουν και ποσοτικά. Τα φυσικά μεγέθη που θα χρειαστούμε είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, η οποία προσδιορίζει ποσοτικά πόσο ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει τον αγωγό, την τάση της ηλεκτρικής πηγής, η οποία μας λέει πόση ενέργεια δίνει η πηγή σε κάθε φορτίο που διέρχεται από αυτήν, και την αντίσταση του αγωγού η οποία μας λέει πόσο πολύ εμποδίζει ο αγωγός την κίνηση των ηλεκτρονίων στο εσωτερικό του.

Η παροχή νερού.

Και πάλι πριν ασχοληθούμε με τα φυσικά μεγέθη που αφορούν το ηλεκτρικό κύκλωμα θα εξετάσουμε τα αντίστοιχα φυσικά μεγέθη που περιγράφουν το υδραυλικό κύκλωμα του σχήματος 2.6β'. Θα ξεκινήσουμε με το φυσικό μέγεθος της παροχής του νερού το οποίο περιγράφει ποσοτικά τον ρυθμό με τον οποίο διέρχεται το νερό από τον σωλήνα και το οποίο θα το συμβολίζουμε με το γράμμα π . Ας ανακαλύψουμε πως μπορούμε να υπολογίσουμε την παροχή στο υδραυλικό μας κύκλωμα εξετάζοντας δύο απλά παραδείγματα.

- Κατασκευάζουμε δύο όμοια υδραυλικά κυκλώματα, όπως αυτό του σχήματος 2.6β', στα οποία όμως χρησιμοποιούμε διαφορετικές αντλίες. Στη συνέχεια βάζουμε τις αντλίες σε λειτουργία και μετράμε πόσο νερό εξέρχεται από κάθε αντλία σε χρονικό διάστημα ενός δευτερολέπτου. Αν από το πρώτο εξέρχονται 2kg νερού κάθε δευτερόλεπτο ενώ από το δεύτερο εξέρχονται 4kg νερού κάθε δευτερόλεπτο σε ποιο από τα δύο πιστεύετε ότι είναι μεγαλύτερη η παροχή νερού; Πόσο μεγαλύτερη πιστεύετε ότι θα είναι;
- Επαναλαμβάνουμε τις μετρήσεις σε δύο παρόμοια υδραυλικά κυκλώματα και βρίσκουμε ότι στο ένα εξέρχονται από την αντλία 40kg μέσα σε χρονικό διάστημα $t = 10s$ ενώ στο δεύτερο κύκλωμα εξέρχονται από την αντλία 40kg μέσα σε χρονικό διάστημα $t = 20s$. Σε ποιο από τα δύο υδραυλικά κυκλώματα πιστεύετε ότι η παροχή του νερού είναι μεγαλύτερη; Πόσο μεγαλύτερη πιστεύετε ότι θα είναι;
- Από τα δύο παραπάνω παραδείγματα συμπεραίνουμε ότι το φυσικό μέγεθος της παροχής του νερού εξαρτάται από τα φυσικά μεγέθη και ενώ η μαθηματική σχέση που συνδέει την παροχή του νερού με τα δύο αυτά φυσικά μεγέθη είναι

$$\pi = \frac{\dots}{\dots} \quad (2.1)$$

- Από την σχέση 2.1 μπορούμε να βρούμε τις μονάδες μέτρησης της παροχής οι οποίες στο Διεθνές σύστημα μονάδων (S.I.) είναι / .
- Η συσκευή του σχήματος είναι ένα όργανο μέτρησης της παροχής του νερού. Καθώς το νερό περνάει από τον σωλήνα  γυρίζει τον έλικα και μετρώντας την ταχύτητα περιστροφής του υπολογίζουμε την παροχή του νερού. Με τι τρόπο και σε ποιο σημείο πρέπει να συνδέσουμε την συσκευή στο υδραυλικό κύκλωμα για να μετρήσουμε την παροχή νερού που εξέρχεται από την αντλία;

στ) Σε ποιο σημείο του υδραυλικού κυκλώματος πιστεύετε ότι θα μετρήσουμε την μεγαλύτερη τιμή παροχής νερού;

Ας λύσουμε μερικές ασκήσεις για να βεβαιωθούμε ότι καταλάβαμε τι είναι αυτό το μυστήριο καινούργιο φυσικό μέγεθος που ονομάσαμε παροχή.

Ασκήσεις :

1. Ένας μαθητής ανοίγει τη βρύση στην κουζίνα και ανακαλύπτει ότι μέσα σε χρονικό διάστημα ενός λεπτού γεμίζει ένα δοχείο με νερό μάζας 3kg .
 - a) Ποια είναι η παροχή νερού της βρύσης αυτής;
 - β) Σε πόσο χρόνο θα γεμίσει το δοχείο με νερό μάζας 5kg
 - γ) Πόσο νερό εξέρχεται από την βρύση μέσα σε χρονικό διάστημα 50s;
2. Ο Αμαζόνιος ποταμός εκβάλλει στον Ατλαντικό ωκεανό περίπου 1.000.000 τόνους νερού κάθε πέντε δευτερόλεπτα.
 - a) Ποια είναι η παροχή νερού του Αμαζονίου;
 - β) Ο Νείλος, ο μεγαλύτερος σε μήκος ποταμός του πλανήτη, εκβάλλει στη Μεσόγειο περίπου 10.000.000 τόνους νερού κάθε εξήντα λεπτά. Ποιος ποταμός έχει μεγαλύτερη παροχή;
 - γ) Κοντά στις εκβολές του Αμαζονίου το νερό ρέει με ταχύτητα περίπου 1m/s. Πως είναι δυνατόν να έχουμε τέτοια τεράστια παροχή νερού με τόσο μικρή ταχύτητα νερού;

Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος.

Ας προχωρήσουμε τώρα στην ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, την οποία συμβολίζεται με το γράμμα I . Όπως η παροχή του νερού μας πληροφορεί για τον ρυθμό με τον οποίο διέρχεται το νερό μέσα από ένα σωλήνα, έτσι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος μας πληροφορεί για τον ρυθμό με τον οποίο διέρχονται τα φορτία μέσα από ένα καλώδιο. Ας ανακαλύψουμε πως μπορούμε να υπολογίσουμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει ένα κύκλωμα με μερικά παραδείγματα.

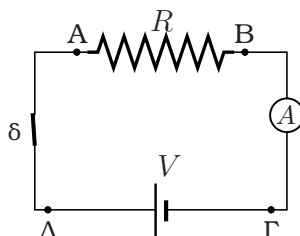
- a) Κατασκευάζουμε δύο όμοια ηλεκτρικά κυκλώματα, όπως αυτό του σχήματος 2.6α', στα οποία όμως χρησιμοποιούμε διαφορετικές ηλεκτρικές πηγές. Αν στο πρώτο εξέρχεται από την πηγή φορτίο 1C κάθε δευτερόλεπτο ενώ στο δεύτερο εξέρχεται φορτίο 2C κάθε δευτερόλεπτο, σε ποιο από τα δύο πιστεύετε ότι είναι μεγαλύτερη η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος;
..... Πόσο μεγαλύτερη πιστεύετε ότι θα είναι;
- β) Επαναλαμβάνουμε τις μετρήσεις σε δύο παρόμοια ηλεκτρικά κυκλώματα και βρίσκουμε ότι στο ένα εξέρχεται από την πηγή φορτίο 1C μέσα σε χρονικό διάστημα 1s ενώ στο δεύτερο κύκλωμα εξέρχεται από την πηγή φορτίο 1C μέσα σε χρονικό διάστημα $t = 2s$. Σε ποιο από τα δύο ηλεκτρικά κυκλώματα πιστεύετε ότι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος είναι μεγαλύτερη;
Πόσο μεγαλύτερη πιστεύετε ότι θα είναι;
- γ) Από τα παραπάνω παραδείγματα συμπεραίνουμε ότι το φυσικό μέγεθος της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος εξαρτάται από τα φυσικά μεγέθη

2.3. ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ

και , ενώ η μαθηματική σχέση που συνδέει την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος με τα δύο αυτά φυσικά μεγέθη είναι

$$I = \frac{Q}{t} \quad (2.2)$$

- δ) Από την σχέση 2.2 μπορούμε να βρούμε τις μονάδες μέτρησης της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος οι οποίες στο Διεθνές σύστημα μονάδων (S.I.) είναι $\frac{C}{s}$. Για συντομία την μονάδα αυτή την ονομάζουμε Ampere και την συμβολίζουμε με το σύμβολο² **A**, δηλαδή $1A = \frac{1C}{1s}$.
- ε) Το ηλεκτρικό ρεύμα μετριέται με συσκευές που ονομάζονται αμπερόμετρα όπως αυτό του σχήματος. Πως πιστεύετε ότι πρέπει να συνδεθεί μια τέτοια συσκευή στα παραπάνω κυκλώματα για να μετρήσει την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διέρχεται από την πηγή ;
.....
- στ) Σε ποιο σημείο του ηλεκτρικού κυκλώματος πιστεύετε ότι θα μετρήσουμε την μεγαλύτερη τιμή έντασης ηλεκτρικού ρεύματος ;
- ζ) Οι Φυσικοί για λόγους οικονομίας όταν θέλουν να αποτυπώσουν στο χαρτί ένα ηλεκτρικό κύκλωμα σαν αυτό του σχήματος 2.6ά' το σχεδιάζουν χρησιμοποιώντας απλά σύμβολα. Για παράδειγμα στο σχήμα που ακολουθεί παριστάνεται ένα ηλεκτρικό κύκλωμα το οποίο περιλαμβάνει ηλεκτρική πηγή, έναν αντιστάτη, ένα διακόπτη, ένα αμπερόμετρο και τα καλώδια που συνδέουν όλα αυτά μεταξύ τους. Μπορείτε να τα αναγνωρίσετε στο σχήμα ;



Σχήμα 2.7: Ένα απλό ηλεκτρικό κύκλωμα όπως το σχεδιάζουν οι Φυσικοί.

- η) Σχεδιάστε με ένα βέλος τη φορά κίνησης των ηλεκτρονίων στο παραπάνω κύκλωμα. Ποια πιστεύετε ότι είναι η φορά του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα ; Σχεδιάστε την.

Ακολουθεί σύντομο διάλειμμα με ασκήσεις για να πειστούμε ότι μάθαμε κάτι χρήσιμο.

Ασκήσεις:

1. Στο ηλεκτρικό κύκλωμα του σχήματος 2.7 διέρχεται από τον αντιστάτη φορτίο $16C$ μέσα σε χρονικό διάστημα δέκα δευτερολέπτων.
 - α) Ποια είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που μετράει το αμπερόμετρο ;

²Προς τιμήν του Φυσικού και Μαθηματικού André-Marie Ampère (1775-1836) ο οποίος θεωρείται ένας από τους βασικούς θεμελιωτές της θεωρίας του ηλεκτρομαγνητισμού.

- β) Ποια είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διέρχεται από την πηγή, τον αντιστάτη, και τα σημεία Α, Β, Γ, Δ αντίστοιχα;
- γ) Πόσο ηλεκτρικό φορτίο διέρχεται από τον αντιστάτη μέσα σε χρονικό διάστημα τριάντα δευτερολέπτων;
- δ) Μέσα σε πόσο χρόνο διέρχεται από τον διακόπτη φορτίο $64C$;
- ε) Πόσα ηλεκτρόνια διέρχονται από την πηγή μέσα σε χρονικό διάστημα ενός δευτερολέπτου στο παραπάνω κύκλωμα;

2. Κάποιος ισχυρίζεται ότι τα ηλεκτρόνια σε ένα τυπικό κύκλωμα κινούνται με ταχύτητα μικρότερη από την ταχύτητα ενός σαλιγκαριού.

- α) Πως είναι δυνατόν σε ένα κύκλωμα να διέρχονται από την πηγή τεράστια φορτία $\simeq 1C$ κάθε δευτερόλεπτο ενώ τα ηλεκτρόνια κινούνται με τόσο μικρές ταχύτητες;
- β) Πως εξηγείτε ότι το φως στο δωμάτιο σας ανάβει ακαριαία μόλις πατήσετε τον διακόπτη αφού η ταχύτητα των ηλεκτρονίων είναι τόσο μικρή;

Ποσοτική περιγραφή της πηγής.

Όπως είδαμε το ηλεκτρικό ρεύμα είναι το αποτέλεσμα που προκαλεί η ηλεκτρική πηγή, ενώ ο αντιστάτης προσπαθεί να μειώσει ρεύμα επιβραδύνοντας τα ηλεκτρόνια. Άρα λοιπόν, εκτός από το φυσικό μέγεθος της έντασης που μόλις είδαμε θα χρειαστούμε και ένα φυσικό μέγεθος το οποίο να περιγράφει πόσο δυνατά σπρώχνει η πηγή τα ηλεκτρόνια για να κινηθούν μέσα στο κύκλωμα. Το φυσικό αυτό μέγεθος ονομάζεται τάση ή διαφορά δυναμικού της πηγής. Όπως έχουμε δει στην ποιοτική περιγραφή του ηλεκτρικού κυκλώματος, για να δημιουργήσει η ηλεκτρική πηγή ρεύμα πρέπει να προσφέρει στα ηλεκτρόνια ενέργεια. Όπως καταλαβαίνετε λοιπόν, η τάση της πηγής θα εξαρτάται από το πόση ενέργεια προσφέρει η πηγή στα ηλεκτρόνια που διέρχονται από αυτήν.

Το μαθητο-κύκλωμα.

Πριν να μελετήσουμε το φυσικό μέγεθος της τάσης στο ηλεκτρικό κύκλωμα θα μελετήσουμε πρώτα ένα ισοδύναμο κύκλωμα που μας είναι πολύ πιο οικείο. Αυτή την φορά, αντί του υδραυλικού κυκλώματος, θα μελετήσουμε ένα μαθητο-κύκλωμα στο οποίο αντί των ηλεκτρονίων μέσα στο κύκλωμα θα κινούνται μαθητές. Τα καλώδια του κυκλώματος θα είναι οι διάδρομοι που σχηματίζονται ανάμεσα στις στήλες των θρανίων της τάξης, η αντίσταση θα είναι ένα στενό σημείο του διαδρόμου το οποίο είναι κάπως μπλοκαρισμένο από τσάντες μαθητών, ενώ η πηγή θα είναι ο καθηγητής ο οποίος σπρώχνει όποιον μαθητή βρεθεί μπροστά του αναγκάζοντας τον έτσι να κινηθεί και να σπρώξει και αυτός με την σειρά του τους μαθητές που βρίσκονται μπροστά του.

Φανταστείτε λοιπόν ότι οι μαθητές που κάθονται σε μια από τις στήλες θρανίων της τάξης σας σηκώνονται όρθιοι στους διαδρόμους δίπλα στα θρανία, ενώ ο καθηγητής στέκεται μπροστά από τα θρανία και σπρώχνει κάθε μαθητή που βρίσκεται μπροστά του προς τα δεξιά του. Ας δούμε ποια θα είναι τα αποτελέσματα που θα προκαλέσει η πηγή στο κύκλωμα αυτό, και από τι εξαρτάται το φυσικό μέγεθος της μαθητο-τάσης θ το οποίο μας περιγράφει την πηγή και μας λέει ο οποίος θα μας περιγράφει πόσο πολύ τείνουν να ρέουν οι μαθητές λόγω της πηγής.

- α) Τι προσφέρει ο καθηγητής στους μαθητές όταν τους σπρώχνει για να τους βάλει σε κίνηση;
- β) Αρχικά ο καθηγητής σπρώχνει δυνατά κάθε μαθητή που περνάει από μπροστά του προσφέροντας του ενέργεια $1000J$, ενώ στη συνέχεια επαναλαμβάνει

τη διαδικασία αλλά αυτή τη φορά δίνει μόνο 500J ανά μαθητή. Πιστεύετε ότι η ροή των μαθητών τώρα θα είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη;

γ) Ο καθηγητής και οι μαθητές επαναλαμβάνουν το πείραμα δύο ακόμα φορές. Την πρώτη ο καθηγητής προσφέρει 2000J ανά πέντε μαθητές που περνάνε από μπροστά του ενώ την δεύτερη προσφέρει 2000J ανά δέκα μαθητές που περνάνε από μπροστά του. Σε ποια από τις δύο περιπτώσεις πιστεύετε ότι θα έχουμε μεγαλύτερη ροή μαθητών;

δ) Τελικά η μαθητο-τάση εξαρτάται από τα φυσικά μεγέθη και

Το φυσικό μέγεθος της τάσης.

Ας ανακαλύψουμε τώρα το φυσικό μέγεθος της ηλεκτρικής τάσης της πηγής V_{π} το οποίο μας λέει πόσο πολύ κάνει η ηλεκτρική πηγή τα φορτία να τείνουν να ρέουν στο κύκλωμα. Το φυσικό αυτό μέγεθος ονομάζεται και διαφορά δυναμικού της πηγής.

α) Τι προσφέρει η ηλεκτρική πηγή στα φορτία του ηλεκτρικού κυκλώματος του σχήματος 2.7 όταν τα σπρώχνει για να τα βάλει σε κίνηση;

β) Στο παραπάνω ηλεκτρικό κύκλωμα η πηγή δίνει σε κάθε Coulomb φορτίου που διέρχεται μέσα από αυτήν ενέργεια 1J. Αν αντικαταστήσουμε την πηγή με μια που δίνει ενέργεια 2J σε κάθε 1C φορτίου πιστεύετε ότι θα δημιουργηθεί μεγαλύτερο ή μικρότερο ηλεκτρικό ρεύμα;

γ) Επαναλαμβάνουμε τις μετρήσεις ρεύματος στο κύκλωμα χρησιμοποιώντας αρχικά μια πηγή η οποία προσφέρει ενέργεια 10J σε κάθε 1C φορτίου που διέρχεται μέσα από αυτήν. Στη συνέχεια αντικαθιστούμε την πηγή με μια που προσφέρει 10J σε κάθε 2C φορτίου που διέρχεται μέσα από αυτήν. Σε ποια από τις δύο περιπτώσεις περιμένετε να δημιουργηθεί ηλεκτρικό ρεύμα μεγαλύτερης έντασης;

δ) Από τα παραπάνω παραδείγματα συμπεραίνουμε ότι η τάση της πηγής εξαρτάται από τα φυσικά μεγέθη και ενώ η μαθηματική σχέση που συνδέει την τάση της πηγής με τα δύο αυτά φυσικά μεγέθη είναι

$$V_{\pi} = \text{---} . \tag{2.3}$$

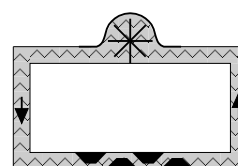
Οι μονάδες τάσης.

ε) Από την σχέση 2.3 μπορούμε να βρούμε τις μονάδες μέτρησης της τάσης οι οποίες στο Διεθνές σύστημα μονάδων (S.I.) είναι / . Για συντομία την μονάδα αυτή την ονομάζουμε **Volt** και την συμβολίζουμε με το σύμβολο³ V, δηλαδή 1V = / .

Το υδραυλικό ισοδύναμο.

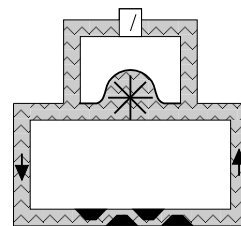
Πριν να αναζητήσουμε το όργανο και τον τρόπο μέτρησης της τάσης θα μας βοηθήσει να ρίξουμε για άλλη μια φορά μια ματιά στο υδραυλικό ισοδύναμο του ηλεκτρικού κυκλώματος.

α) Στο υδραυλικό κύκλωμα του σχήματος η αντλία που βρίσκεται στο πάνω μέρος, περιστρέφεται δεξιόστροφα δημιουργώντας ροή νερού όπως φαίνεται στο σχήμα. Κατά την γνώμη σας σε ποια πλευρά της αντλίας η πίεση θα είναι μεγαλύτερη;



³Προς τιμήν του Ιταλού Φυσικού Alessandro Volta (1745-1827) ο οποίος ανακάλυψε την πρώτη χημική μπαταρία.

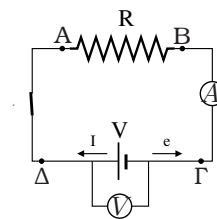
β) Συμφωνείτε ότι για να μετρήσετε την διαφορά πίεσης στα άκρα της αντλίας θα πρέπει να συνδέσουμε στα άκρα της αντλίας ένα όργανο που να συγκρίνει τις πιέσεις στα άκρα του οργάνου, οπότε πρέπει να το συνδέσουμε όπως φαίνεται στο σχήμα;.....



γ) Μεταξύ των δύο άκρων του βουλωμένου σωλήνα υπάρχει διαφορά πίεσης; . Πόση είναι η διαφορά πίεσης στα άκρα του βουλωμένου σωλήνα σε σχέση με την διαφορά πίεσης στα άκρα της αντλίας; Πως θα συνδέσετε το όργανο για να βρείτε την διαφορά πίεσης στα άκρα του βουλωμένου σωλήνα; Ποια πιστεύετε ότι είναι η διαφορά πίεσης μεταξύ της πάνω αριστερής και της κάτω αριστερής γωνίας του υδραυλικού κυκλώματος;.....

Το βολτόμετρο.

Όπως ίσως φαντάζεστε η διαφορά πίεσης με την οποία ασχοληθήκαμε στο υδραυλικό κύκλωμα είναι αντίστοιχη με την διαφορά δυναμικού στο ηλεκτρικό κύκλωμα. Όπως ακριβώς στα άκρα της αντλίας υπάρχει διαφορά πίεσης που δημιουργεί την ροή του νερού έτσι ακριβώς και στο ηλεκτρικό κύκλωμα έχουμε διαφορά δυναμικού. Μάλιστα όπως ακριβώς στο υδραυλικό κύκλωμα έτσι και στο ηλεκτρικό για να μετρήσουμε την διαφορά δυναμικού στα άκρα της πηγής θα πρέπει να συνδέσουμε το όργανο που ονομάζουμε βολτόμετρο στα άκρα της πηγής όπως φαίνεται στο σχήμα.



Η διαφορά δυναμικού στα άκρα της αντίστασης.

Από το υδραυλικό κύκλωμα είδαμε επίσης, ότι θα υπάρχει διαφορά δυναμικού όχι μόνο στα άκρα της πηγής αλλά και στα άκρα του αντιστάτη. Αυτό μπορούμε να το σκεφτούμε και από τον ορισμό της διαφοράς δυναμικού της σχέσης 2.3. Σύμφωνα με την τελευταία, εφόσον μεταξύ των άκρων του αντιστάτη κάθε φορτίο q που διέρχεται χάνει ενέργεια E_R τότε εκεί θα εμφανίζεται και διαφορά δυναμικού η οποία θα ισούται με $V_R = E_R/q$. Μάλιστα, αφού κάθε φορτίο q που διέρχεται από τον αντιστάτη χάνει ενέργεια E_R ίση με την ενέργεια E_π που πήρε από την πηγή όταν πέρασε από εκεί, προκύπτει ότι

$$V_R = \frac{E_R}{q} = \frac{E_\pi}{q} = V_\pi$$

δηλαδή στο συγκεκριμένο κύκλωμα ισχύει $V_R = V_\pi$.

Η διαφορά δυναμικού στα άκρα ενός τέλει αγωγού.

Από την άλλη, όπως ακριβώς και στο υδραυλικό κύκλωμα, η διαφορά δυναμικού μεταξύ των σημείων A και Δ θα είναι μηδέν αφού κάθε φορτίο q που ταξιδεύει από το σημείο A στο σημείο Δ δεν ανταλλάσει ενέργεια, δηλαδή

$$V_{A\Delta} = \frac{E_{A\Delta}}{q} = \frac{0}{q} = 0.$$

Ο νόμος του Ohm.

Είμαστε τώρα έτοιμοι να ανακαλύψουμε τον νόμο που συνδέει το ηλεκτρικό ρεύμα I_R που διαρρέει έναν αντιστάτη με την διαφορά δυναμικού V_R που επικρατεί στα άκρα του, αλλά και το μέγεθος της αντίστασης R που χαρακτηρίζει τον αντιστάτη. Ο νόμος αυτός ονομάζεται και νόμος του **Ohm** και η μαθηματική του περιγραφή είναι

$$I_R = \frac{V_R}{R} \tag{2.4}$$

Το φυσικό μέγεθος της αντίστασης.

Ο νόμος του Ohm μας λέει ότι το ρεύμα που διαρρέει έναν αντιστάτη είναι

ανάλογο της διαφοράς δυναμικού που υπάρχει μεταξύ των δύο άκρων του και αντιστρόφως ανάλογο της αντίστασης του. Τι είναι όμως άραγε το φυσικό μέγεθος της αντίστασης και ποια είναι η σχέση από την οποία ορίζεται; Η σχέση που ορίζει την αντίσταση του αντιστάτη δεν είναι άλλη από τον νόμο του Ohm αφού λύσουμε τη σχέση ως προς το φυσικό μέγεθος της αντίστασης R , δηλαδή

$$R = \frac{V_R}{I_R}. \quad (2.5)$$

**Μονάδες
αντίστασης.**

Από τη σχέση αυτή μπορούμε να βρούμε ότι οι μονάδες του φυσικού μεγέθους της αντίστασης στο S.I. είναι οι V/A . Για συντομία την μονάδα αυτή την ονομάζουμε **Ohm** και την συμβολίζουμε με το σύμβολο⁴ Ω , δηλαδή $1\Omega = \text{V/A}$.

**Αντίσταση
ηλεκτρικών
συσκευών.**

Οι μεταλλικοί αντιστάτες με τους οποίους ασχοληθήκαμε μέχρι τώρα, έχουν την ιδιαιτερότητα να έχουν αντίσταση R σταθερή, δηλαδή ο λόγος $R = V_R/I_R$ παραμένει πάντα ο ίδιος, ανεξάρτητα από την τιμή του ρεύματος I_R που τους διαρρέει και της διαφοράς δυναμικού V_R στα άκρα τους. Σε όλες σχεδόν τις άλλες ηλεκτρικές συσκευές όπως π.χ. σε μια φωτοδίοδο (LED) ή σε ένα ηλεκτρικό κιντήριο, ο λόγος V/I εξαρτάται από την διαφορά δυναμικού που επιβάλλεται στα άκρα τους.

Ας λύσουμε τώρα μερικές ασκήσεις για να βεβαιωθούμε ότι καταλάβαμε τον νόμο του Ohm.

Ασκήσεις:

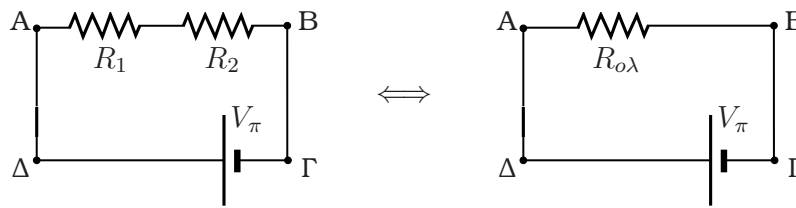
- Στο κύκλωμα του σχήματος 2.7 η τάση της πηγής είναι ίση με $1,5\text{V}$, ενώ η αντίσταση του αντιστάτη είναι $0,5\Omega$.
 - Πόση ενέργεια προσλαμβάνει φορτίο 1C που διέρχεται από την πηγή;
 - Πόση ενέργεια θα χάσει το παραπάνω φορτίο όταν θα διέλθει από τον αντιστάτη; Ποια αρχή διατήρησης το επιβάλλει;
 - Χρησιμοποιήστε το προηγούμενο αποτέλεσμα σας για να υπολογίσετε ποια θα είναι η διαφορά δυναμικού στα άκρα του αντιστάτη.
 - Ποια θα είναι η διαφορά δυναμικού μεταξύ των σημείων Β και Γ;
 - Ποια είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη;
 - Ποια είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει την πηγή;
 - Ποια από τα παραπάνω αποτελέσματα θα αλλάξουν αν τα καλώδια που αποτελούν το κύκλωμα δεν έχουν μηδενική αντίσταση;
- Στο κύκλωμα του σχήματος 2.7 η τάση της πηγής είναι ίση με $1,5\text{V}$, ενώ το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα έχει τιμή 1A .
 - Ποια είναι η τιμή της αντίστασης στο κύκλωμα αυτό;
 - Πόσο φορτίο διέρχεται από την πηγή μέσα σε χρονικό δέκα δευτερόλεπτων;
 - Πόση ενέργεια δίνει η πηγή μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα;
 - Πόση θερμότητα μεταφέρεται από τον αντιστάτη στο περιβάλλον μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα;

⁴Προς τιμήν του Γερμανού Φυσικού και Μαθηματικού Georg Simon Ohm (1789 - 1854) ο οποίος ανακάλυψε τον ομώνυμο νόμο.

3. Στο κύκλωμα του σχήματος 2.7 η αντίσταση του αντιστάτη είναι ίση με 2Ω , ενώ η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα έχει τιμή $1A$.
- α) Ποια είναι η διαφορά δυναμικού στα άκρα της αντίστασης;
 β) Ποια είναι η διαφορά δυναμικού στα άκρα της πηγής;

2.3.1 Σύνδεση αντιστάσεων σε σειρά

Το κύκλωμα του σχήματος 2.7 με μια πηγή και έναν αντιστάτη το οποίο μελετήσαμε μέχρι τώρα, είναι το πιο απλό που μπορούμε να κατασκευάσουμε. Τι θα συμβεί άραγε αν στο κύκλωμα αυτό προσθέσουμε και μια δεύτερη αντίσταση σε σειρά με την υπάρχουσα, όπως φαίνεται στο πρώτο κύκλωμα του σχήματος 2.8 που ακολουθεί;



Σχήμα 2.8: Ένα ηλεκτρικό κύκλωμα με δύο αντιστάσεις συνδεδεμένες σε σειρά, και το ισοδύναμο του κύκλωμα με μία αντίσταση.

Ας υποθέσουμε λοιπόν ότι ξεκινάμε από ένα απλό κύκλωμα με έναν αντιστάτη στο οποίο χρησιμοποιούμε πηγή τάσης $V_\pi = 20V$ και αντίσταση $R_1 = 10\Omega$ και στην συνέχεια προσθέτουμε ένα δεύτερο αντιστάτη σε σειρά με τον πρώτο με αντίσταση $R_2 = 10\Omega$. Πως θα μεταβληθεί άραγε στο ρεύμα που θα διαρρέει το κύκλωμα; Μάλλον έχετε ήδη μαντέψει την απάντηση οπότε καλύτερα να την γράψετε μόνοι σας.

- α) Ποια ήταν η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διέρρεε το αρχικό κύκλωμα όταν είχε ένα μόνο αντιστάτη R_1 ;
- β) Πιστεύετε ότι μετά την προσθήκη της δεύτερης αντίστασης R_2 , σε σειρά με την πρώτη, η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που θα διαρρέει το κύκλωμα θα είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη;
- γ) Με βάση την προηγούμενη απάντησή σας θα συμφωνούσατε ότι ο συνδυασμός των δύο αντιστατών R_1 και R_2 προκαλεί το ίδιο αποτέλεσμα με έναν αντιστάτη αντίστασης $R_{ολ}$ ο οποίος είναι μεγαλύτερος από την αρχική αντίσταση R_1 ;
- δ) Αν σας έβαζαν να μαντέψετε, πόση θα λέγατε ότι είναι η ισοδύναμη αντίσταση $R_{ολ}$, η οποία αν αντικαταστήσει τις R_1 και R_2 θα προκαλέσει την ίδια ένταση ηλεκτρικού ρεύματος;
- ε) Ποια θα είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος στο δεύτερο κύκλωμα του σχήματος 2.8 στο οποίο έχουμε αντικαταστήσει τις R_1 και R_2 με την ισοδύναμη τους αντίσταση $R_{ολ} = R_1 + R_2$;
- στ) Ποια θα είναι τελικά η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος στο πρώτο κύκλωμα με τις δύο αντιστάσεις;

ζ) Ποιες θα είναι οι διαφορές δυναμικού στα άκρα των αντιστάτων R_1 και R_2 αντίστοιχα;

Όπως φαντάζεστε την σχέση που συνδέει την ισοδύναμη αντίσταση $R_{o\lambda}$ με τις R_1 και R_2 , οι φυσικοί δεν την μάντεψαν στην τύχη όπως κάναμε εμείς αλλά την απέδειξαν χρησιμοποιώντας βασικούς νόμους της φυσικής. Στην συνέχεια λοιπόν θα αποδείξουμε την σχέση $R_{o\lambda} = R_1 + R_2$ χρησιμοποιώντας την Αρχή Διατήρησης του Φορτίου (ΑΔΦ), την Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας (ΑΔΕ) και τον νόμο του Ohm.

Οι συνέπειες της Α.Δ.Φ.

Η αρχή διατήρησης του φορτίου επιβάλλει ότι αν μέσα σε χρονικό διάστημα t περάσει από την πηγή φορτίο q_π τότε θα πρέπει και τα φορτία q_1 και q_2 που θα περάσουν στο ίδιο χρονικό διάστημα από τις δύο αντιστάσεις θα είναι ίσα, δηλαδή

$$q_\pi = q_1 = q_2 \Rightarrow \frac{q_\pi}{t} = \frac{q_1}{t} = \frac{q_2}{t} \Rightarrow \mathbf{I_\pi = I_1 = I_2.} \quad (2.6)$$

Οι συνέπειες της Α.Δ.Ε.

Από την άλλη η αρχή διατήρησης της ενέργειας επιβάλλει ότι όση ενέργεια E_π προσφέρει η πηγή σε φορτίο q που διέρχεται από αυτή θα ισούται με το άθροισμα των ποσών ενέργειας E_1 και E_2 που θα του αφαιρέσουν οι αντιστάσεις R_1 και R_2 αντίστοιχα, δηλαδή

$$E_\pi = E_1 + E_2 \Rightarrow \frac{E_\pi}{q} = \frac{E_1}{q} + \frac{E_2}{q} \Rightarrow \mathbf{V_\pi = V_1 + V_2.} \quad (2.7)$$

Χρησιμοποιώντας την τελευταία σχέση 2.7 με την βοήθεια την σχέσης 2.6 και του νόμου του Ohm είμαστε τώρα έτοιμοι να αποδείξουμε την πολυπόθητη σχέση $R_{o\lambda} = R_1 + R_2$. Ιδού:

$$\begin{aligned} V_\pi = V_1 + V_2 &\Rightarrow \frac{V_\pi}{I_\pi} = \frac{V_1}{I_\pi} + \frac{V_2}{I_\pi} \Rightarrow \\ \frac{V_\pi}{I_\pi} = \frac{V_1}{I_1} + \frac{V_2}{I_2} &\Rightarrow \frac{V_\pi}{I_\pi} = R_1 + R_2. \end{aligned}$$

Ο λόγος V_π/I_π στην παραπάνω σχέση, πρέπει να υπολογιστεί στο αρχικό κύκλωμα με τις δύο αντιστάσεις. Όμως ο λόγος αυτός έχει την ίδια τιμή και στο ισοδύναμο κύκλωμα με τον αντιστάτη $R_{o\lambda}$. Στο ισοδύναμο κύκλωμα βρίσκουμε $V_\pi/I_\pi = V_{R_{o\lambda}}/I_{R_{o\lambda}} = R_{o\lambda}$. Αντικαθιστώντας το αποτέλεσμα αυτό στην προηγούμενη σχέση παίρνουμε

$$\mathbf{R_{o\lambda} = R_1 + R_2} \quad (2.8)$$

Ας λύσουμε μερικές ασκήσεις για να δούμε τι καταλάβαμε.

Ασκήσεις:

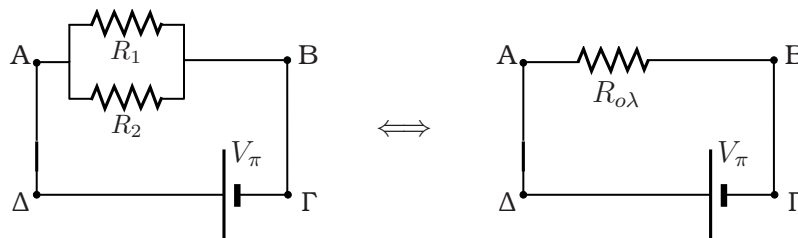
1. Ένα κύκλωμα αποτελείται από μια πηγή τάσεως 15V και δύο αντιστάτες αντίστασης $R_1 = 10\Omega$ και $R_2 = 5\Omega$ αντίστοιχα, συνδεδεμένους σε σειρά όπως φαίνεται στο σχήμα 2.8.

- Σχεδιάστε το κύκλωμα και δίπλα σε αυτό το ισοδύναμο του κύκλωμα.
- Ποια θα είναι η αντίσταση $R_{o\lambda}$ του ισοδύναμου κυκλώματος;
- Ποια θα είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το ισοδύναμο κύκλωμα;

- δ) Ποια θα είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το αρχικό κύκλωμα;
- ε) Ποια είναι η διαφορά δυναμικού στα άκρα των αντιστάτων R_1 και R_2 ;
- στ) Πως θα συνδέατε ένα αμπερόμετρο για να μετρήσετε το ρεύμα που διαρρέει τον πρώτο αντιστάτη. Σχεδιάστε το.
- ζ) Πως θα συνδέατε ένα βολτόμετρο για να μετρήσετε την διαφορά δυναμικού στα άκρα του πρώτου αντιστάτη. Σχεδιάστε το.

2.3.2 Παράλληλη σύνδεση αντιστάσεων

Εκτός από την σύνδεση δύο αντιστατών σε σειρά ιδιαίτερα χρήσιμη είναι και η παράλληλη σύνδεση των αντιστατών. Ένα παράδειγμα παράλληλης σύνδεσης αντιστατών φαίνεται στο πρώτο κύκλωμα του σχήματος 2.9 που ακολουθεί.



Σχήμα 2.9: Ένα ηλεκτρικό κύκλωμα με δύο αντιστάσεις παράλληλα συνδεδεμένες, και το ισοδύναμο του κύκλωμα με μία αντίσταση.

Ας υποθέσουμε λοιπόν ότι ξεκινάμε από ένα απλό κύκλωμα με έναν μόνο αντιστάτη $R_1 = 10\Omega$ και μια πηγή τάσης $V_\pi = 20V$. Στην συνέχεια προσθέτουμε ένα δεύτερο αντιστάτη παράλληλα με τον πρώτο με αντίσταση $R_2 = 10\Omega$. Πως θα μεταβληθεί άραγε στο ρεύμα που θα διαρρέει το κύκλωμα; Ας προσπαθήσουμε να το ανακαλύψουμε.

- α) Ποια ήταν η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διέρρεε το αρχικό κύκλωμα όταν είχε ένα μόνο αντιστάτη R_1 ;
- β) Πιστεύετε ότι μετά την προσθήκη της δεύτερης αντίστασης R_2 , παράλληλα με την πρώτη, η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που θα διαρρέει την πηγή θα γίνει μεγαλύτερη ή μικρότερη;
- γ) Με βάση την προηγούμενη απάντησή σας θα συμφωνούσατε ότι ο συνδυασμός των δύο αντιστατών R_1 και R_2 προκαλεί το ίδιο ρεύμα με έναν αντιστάτη αντίστασης $R_{ολ}$ ο οποίος είναι μικρότερος από τις αντιστάσεις R_1 και R_2 ; ...
- δ) Αν σας έβαζαν να μαντέψετε, πόση θα λέγατε ότι είναι η ισοδύναμη αντίσταση $R_{ολ}$, η οποία αν αντικαταστήσει τις R_1 και R_2 θα προκαλέσει την ίδια ένταση ηλεκτρικού ρεύματος;
- ε) Ποια θα είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος στο δεύτερο κύκλωμα του σχήματος 2.8 στο οποίο έχουμε αντικαταστήσει τις R_1 και R_2 με την ισοδύναμη τους αντίσταση $R_{ολ} = R_1/2$;
- στ) Ποια θα είναι τελικά η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διέρχεται από την πηγή του κυκλώματος με τις δύο αντιστάσεις;

ζ) Ποια θα είναι οι διαφορές δυναμικού στα άκρα των αντιστάσεων R_1 και R_2 αντίστοιχα;

η) Ποια θα είναι η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τους αντιστάτες R_1 και R_2 αντίστοιχα;

Η ισοδύναμη αντίσταση δύο παράλληλα συνδεδεμένων αντιστατών.

Είδαμε ότι οι δύο παράλληλα συνδεδεμένοι αντιστάτες $R_1 = R_2 = 10\Omega$ είναι ισοδύναμοι με έναν αντιστάτη $R_{o\lambda} = 5\Omega$. Πόση είναι άραγε η ισοδύναμη αντίσταση $R_{o\lambda}$ δύο τυχαίων παράλληλα συνδεδεμένων αντιστάσεων R_1 και R_2 . Όπως μάλλον υποπτεύεστε οι φυσικοί χρησιμοποίησαν και πάλι την Αρχή Διατήρησης του Φορτίου (ΑΔΦ), την Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας (ΑΔΕ) και τον νόμο του Ohm για να ανακαλύψουν ότι η ισοδύναμη αντίσταση $R_{o\lambda}$ συνδέεται με τις R_1 και R_2 με την σχέση

$$\frac{1}{R_{o\lambda}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow R_{o\lambda} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}. \quad (2.9)$$

Ας δούμε τώρα πως μπορούμε χρησιμοποιώντας τις αρχές διατήρησης και τον νόμο του Ohm να αποδείξουμε της σχέσης 2.9.

Οι συνέπειες της Α.Δ.Ε.

Ας υποθέσουμε ότι κάποιο φορτίο q περνάει από την πηγή από την οποία παίρνει ενέργεια E_π και στην συνέχεια διέρχεται από την αντίσταση R_1 όπου χάνει ενέργεια E_1 . Η αρχή διατήρησης της ενέργειας επιβάλλει $E_\pi = E_1$. Ομοίως, αν το φορτίο διέλθει από την R_2 βρίσκουμε $E_\pi = E_2$, δηλαδή

$$E_\pi = E_1 = E_2 \Rightarrow \frac{E_\pi}{q} = \frac{E_1}{q} = \frac{E_2}{q} \Rightarrow V_\pi = V_1 = V_2. \quad (2.10)$$

Άρα η διαφορές δυναμικού στα άκρα των δύο παράλληλα συνδεδεμένων αντιστατών και της πηγής θα είναι μεταξύ τους ίσες.

Οι συνέπειες της Α.Δ.Φ.

Η αρχή διατήρησης του φορτίου επιβάλλει ότι αν μέσα σε χρονικό διάστημα t περάσει από την πηγή φορτίο q_π τότε θα πρέπει αυτό να ισούται με τα φορτία q_1 και q_2 περνάνε στο ίδιο χρονικό διάστημα από τις δύο αντιστάσεις R_1 και R_2 , δηλαδή

$$q_\pi = q_1 + q_2 \Rightarrow \frac{q_\pi}{t} = \frac{q_1}{t} + \frac{q_2}{t} \Rightarrow I_\pi = I_1 + I_2. \quad (2.11)$$

Εφαρμογή του νόμου του Ohm.

Εφαρμόζοντας το νόμο του Ohm για κάθε έναν από τους αντιστάτες R_1 και R_2 του κυκλώματος βρίσκουμε $I_1 = V_1/R_1$ και $I_2 = V_2/R_2$, ενώ εφαρμόζοντας τον νόμο του Ohm στην αντίσταση $R_{o\lambda}$ του ισοδύναμου κυκλώματος βρίσκουμε $I_\pi = V_{R_{o\lambda}}/R_{o\lambda}$. Αντικαθιστώντας τις σχέσεις αυτές στο προηγούμενο αποτέλεσμα παίρνουμε

$$I_\pi = I_1 + I_2 \Rightarrow \frac{V_{R_{o\lambda}}}{R_{o\lambda}} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} \Rightarrow \frac{V_\pi}{R_{o\lambda}} = \frac{V_\pi}{R_1} + \frac{V_\pi}{R_2} \Rightarrow \frac{1}{R_{o\lambda}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

το οποίο είναι η σχέση που θέλαμε να αποδείξουμε. Ας εφαρμόσουμε τώρα τα αποτελέσματα μας σε μερικές ασκήσεις.

Ασκήσεις:

- Ένα κύκλωμα αποτελείται από μια πηγή τάσεως 10V και δύο αντιστάτες αντίστασης $R_1 = 10\Omega$ και $R_2 = 40\Omega$ αντίστοιχα, συνδεδεμένους παράλληλα όπως φαίνεται στο σχήμα 2.9.

α) Σχεδιάστε το κύκλωμα και δίπλα σε αυτό το ισοδύναμο του κύκλωμα.

- β) Ποια θα είναι η αντίσταση $R_{ολ}$ του ισοδύναμου κυκλώματος;
- γ) Ποια θα είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το ισοδύναμο κύκλωμα;
- δ) Ποια θα είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το αρχικό κύκλωμα;
- ε) Ποια είναι η διαφορά δυναμικού στα άκρα των αντιστάτων R_1 και R_2 ;
- στ) Ποια είναι η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη R_1 ;
- ζ) Ποια είναι η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη R_2 ;
- η) Πως θα μεταβληθεί το ρεύμα αν συνδέσουμε παράλληλα στις R_1 και R_2 μια τρίτη αντίσταση $R_3 = 8\Omega$;

2.4 Ηλεκτρική Ενέργεια – Ισχύς

**Ηλεκτρική
ενέργεια και
οι μετατροπές
της.**

Όπως έχουμε πει από την αρχή του κεφαλαίου ο λόγος που χρησιμοποιούμε καθημερινά το ηλεκτρικό ρεύμα είναι ότι μεταφέρει μέσω των καλωδίων ηλεκτρική ενέργεια από την πηγή οπουδήποτε την χρειαζόμαστε. Για παράδειγμα η ΔΕΗ στα εργοστάσια της μετατρέπει την χημική ενέργεια του πετρελαίου ή του λιγνίτη σε ηλεκτρική ενέργεια, η οποία στην συνέχεια μεταφέρεται μέσω των καλωδίων στα σπίτια μας. Εκεί μπορούμε εμείς με τη σειρά μας να μετατρέψουμε την ηλεκτρική ενέργεια σε διάφορες μορφές, π.χ. με την βοήθεια ενός κινητήρα μπορούμε να την μετατρέψουμε σε κινητική ενέργεια ενός ανεμιστήρα, με την βοήθεια μιας λάμπας μπορούμε να την μετατρέψουμε σε φωτεινή ενέργεια, ενώ με την βοήθεια αντιστάτων μπορούμε να την μετατρέψουμε σε θερμική όπως κάνουμε στον φούρνο, τις σπύρες, τον θερμοσίφωνα, το ηλεκτρικό καλοριφέρ κ.τ.λ.

Όπως καταλαβαίνετε λοιπόν, μια που η ΔΕΗ καταναλώνει καύσιμα για να μας στείλει την ενέργεια που χρησιμοποιούμε καθημερινά, εμείς οι χρήστες πληρώνουμε για την ενέργεια αυτή όπως ακριβώς χρεωνόμαστε και για το νερό που καταναλώνουμε. Όσο περισσότερο ενέργεια ή νερό καταναλώνουμε τόσο περισσότερο πληρώνουμε. Θα χρειαστεί λοιπόν να βρούμε πως μπορούμε να υπολογίσουμε την ενέργεια που καταναλώνει μια ηλεκτρική συσκευή, όπως π.χ. ο φούρνος, μετά από κάποια ώρα λειτουργίας. Θα χρειαστούμε επίσης και ένα φυσικό μέγεθος που θα μας πληροφορεί τον ρυθμό με τον οποίο καταναλώνει ενέργεια μια συσκευή με τον ίδιο τρόπο που μας ενδιαφέρει ο ρυθμός με τον οποίο καταναλώνουμε νερό όταν κάνουμε ντους. Τέλος, θα δούμε ότι τα καλώδια του σπιτιού μας δεν μπορούν να μεταφέρουν τεράστια ρεύματα χωρίς να κινδυνεύουν να καταστραφούν από υπερθέρμανση και θα δούμε τι μέτρα παίρνουμε για να αποφύγουμε να κάψουμε το σπίτι μας.

2.4.1 Η ηλεκτρική ενέργεια που παρέχει ή καταναλώνει μια συσκευή.

**Η ενέργεια
που παρέχει
μια πηγή.**

Έχουμε δει ότι η πηγή σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα παρέχει ενέργεια, ενώ η αντίσταση καταναλώνει την ηλεκτρική ενέργεια αυτή μετατρέποντας την σε θερμική. Θα αναζητήσουμε τώρα από τι εξαρτάται η ενέργεια που προσφέρει η πηγή στο απλό κύκλωμα του σχήματος 2.7.

**Τι μας λέει η
διαίσθηση
μας.**

Όπως μάλλον φαντάζεστε η ενέργεια E_{π} που προσφέρει η πηγή θα εξαρτάται από την τάση της V_{π} , αφού όσο μεγαλύτερη η τάση τόσο περισσότερη ενέργεια δίνει η πηγή σε κάθε ηλεκτρόνιο που διέρχεται από αυτήν. Από την άλλη, η ενέργεια που

θα δώσει η πηγή θα εξαρτάται και από τον αριθμό των ηλεκτρονίων που περνάνε από αυτήν. Ο αριθμός των ηλεκτρονίων από την άλλη εξαρτάται από τον χρόνο t που διαρρέεται η πηγή από ηλεκτρόνια και από τον ρυθμό με τον οποίο περνάνε αυτά από την πηγή, δηλαδή από την ένταση I_{π} του ηλεκτρικού ρεύματος που την διαρρέουν. Σύμφωνα με τα παραπάνω, η ενέργεια E_{π} που προσφέρει η πηγή θα εξαρτάται από την τάση της πηγής V_{π} την ένταση του ρεύματος I_{π} που την διαρρέει και από τον χρόνο t που την διαρρέει. Ας δούμε πως αυτό προκύπτει εύκολα από αυτά που γνωρίζουμε χρησιμοποιώντας απλά μαθηματικά.

Εύρεση της σχέσης που μας δίνει την ενέργεια.

Όπως έχουμε δει στον ορισμό της τάσης 2.3, η ενέργεια E_{π} που δίνει μια πηγή εξαρτάται την τάση της V_{π} και από το φορτίο q που περνάει από αυτήν σύμφωνα με την σχέση

$$V_{\pi} = \frac{E_{\pi}}{q} \Rightarrow E_{\pi} = V_{\pi} \cdot q$$

Από την άλλη ξέρουμε ότι το φορτίο που περνάει από την πηγή εξαρτάται από τον χρόνο που την διαρρέει το ρεύμα αλλά και από το πόσο μεγάλο είναι το ρεύμα αυτό, όπως φαίνεται από τη σχέση

$$I_{\pi} = \frac{q}{t} \Rightarrow q = I_{\pi} \cdot t.$$

Αντικαθιστώντας το φορτίο q από την τελευταία σχέση στην παραπάνω σχέση για την ενέργεια E_{π} βρίσκουμε ότι η ενέργεια που παρέχει μια πηγή τάσης V_{π} μέσα σε χρονικό διάστημα t όταν διαρρέεται από ρεύμα I_{π} δίνεται από την σχέση $E_{\pi} = V_{\pi} \cdot I_{\pi} \cdot t$. Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία μπορούμε να δείξουμε ότι η ενέργεια E που παρέχει ή καταναλώνει μια οποιαδήποτε ηλεκτρική συσκευή δίνεται από την σχέση

$$E = V \cdot I \cdot t \quad (2.12)$$

όπου t είναι ο χρόνος λειτουργίας της συσκευής, V είναι η διαφορά δυναμικού στα άκρα της συσκευής και I το ρεύμα που διαρρέει την συσκευή. Ας κάνουμε μερικές ασκήσεις για να διαπιστώσουμε πόσο λογικό είναι το αποτέλεσμα στο οποίο καταλήξαμε.

Ασκήσεις:

- Κατασκευάζουμε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα χρησιμοποιώντας μια πηγή $V_{\pi} = 10V$ και μια αντίσταση $R = 10\Omega$.
 - Πόση ενέργεια παρέχει η πηγή αν το κύκλωμα διαρρέεται από ρεύμα για χρονικό διάστημα 1s;
 - Πως αλλάζει η ενέργεια αν το κύκλωμα διαρρέεται από ρεύμα για χρονικό διάστημα 2s;
 - Πως αλλάζει η ενέργεια εάν η τάση της πηγής ήταν $V_{\pi} = 20V$;
 - Πως αλλάζει η ενέργεια εάν η αντίσταση είχε τιμή $R = 5\Omega$.
- Ένας τυπικός ηλεκτρικός φούρνος δουλεύει στην συνήθη οικιακή ηλεκτρική τάση 220V της ΔΕΗ. Αν για να ψηθεί ένα κατσικίσιο μπουτί ο φούρνος θα διαρρέεται από ρεύμα 10A για περίπου 2h, βρείτε

- α) Πόση ενέργεια θα καταναλώσει ο φούρνος για να ψήσει το κατσικίσιο μπουύτι.
 β) Αν η ΔΕΗ χρεώνει για κάθε 1J ενέργειας περίπου $0,04 \cdot 10^{-6} \text{€}$ πόσο θα κοστίσει το ψήσιμο του φαγητού;

2.4.2 Ηλεκτρική ισχύς μιας συσκευής.

Όπως φαίνεται από την σχέση 2.12, η ενέργεια που καταναλώνει μια ηλεκτρική συσκευή είναι ανάλογη του χρόνου που την αφήνουμε σε λειτουργία. Για παράδειγμα, αν αφήσουμε ανοιχτό όλο το βράδυ ένα λαμπάκι σαν αυτά που ανάβουμε το βράδυ στα μικρά παιδιά, θα καταναλώσουμε περίπου 10^5J . Από την άλλη, αν αφήσουμε ανοιχτό ένα ηλεκτρικό καλοριφέρ το ίδιο βράδυ, αυτό θα καταναλώσει περίπου 10^8J , δηλαδή χίλιες φορές περισσότερη ενέργεια από το λαμπάκι! Ο λόγος που οι δύο συσκευές καταναλώνουν διαφορετικά ποσά ενέργειας στον ίδιο χρόνο λειτουργίας, είναι ότι αυτές διαφέρουν στον ρυθμό με τον οποίο καταναλώνουν ενέργεια, όπως ακριβώς και μια βρύση που στάζει διαφέρει στον ρυθμό που καταναλώνει νερό από μια βρύση που είναι ορθάνοικτη.

Ανακαλύπτοντας την ισχύ.

Οι Φυσικοί για να περιγράψουν ποσοτικά τον ρυθμό με τον οποίο μια συσκευή καταναλώνει ενέργεια όρισαν το φυσικό μέγεθος της **ισχύος** το οποίο συμβολίζουμε με το γράμμα P . Μερικά παραδείγματα θα σας βοηθήσουν να ανακαλύψετε μόνοι σας την μαθηματική σχέση που ορίζει την ισχύ.

- α) Ένα λαμπάκι νυκτός μέσα σε 10s καταναλώνει ενέργεια 30J ενώ ένα ηλεκτρικό καλοριφέρ 30.000J. Ποια συσκευή πιστεύετε ότι έχει μεγαλύτερη ισχύ; Από ποιο φυσικό μέγεθος πιστεύετε ότι εξαρτάται η ισχύς;
 β) Ένα λαμπάκι νυκτός καταναλώνει ενέργεια 3.000J μέσα σε 1.000s ενώ ένα ηλεκτρικό καλοριφέρ καταναλώνει ενέργεια 3.000J μέσα σε 1s. Ποια συσκευή πιστεύετε ότι έχει μεγαλύτερη ισχύ; Από ποιο φυσικό μέγεθος πιστεύετε ότι εξαρτάται η ισχύς;
 γ) Ποια πιστεύετε ότι είναι η σχέση που συνδέει της ισχύ P μιας συσκευής με την ενέργεια E που καταναλώνει αυτή και τον χρόνο t μέσα στον οποίο την κατανάλωσε;

Ο Ορισμός της ισχύος.

$$P = \frac{E}{t} \quad (2.13)$$

- δ) Από την σχέση 2.13 μπορούμε να βρούμε τις μονάδες μέτρησης της ισχύος οι οποίες στο Διεθνές σύστημα μονάδων (S.I.) είναι W / J/s . Την μονάδα αυτή την ονομάζουμε Watt και την συμβολίζουμε με το σύμβολο W οπότε $1\text{W} = 1\text{J}/1\text{s}$.

Ο ορισμός της ισχύος που μόλις είδαμε στη σχέση 2.13 είναι απόλυτα γενικός και ισχύει τόσο για τον ρυθμό που καταναλώνει ενέργεια ένα ηλεκτρικό καλοριφέρ όσο και για τον ρυθμό που παράγει ενέργεια ο κινητήρας μιας Ferrari. Στην περίπτωση των ηλεκτρικών συσκευών που μας ενδιαφέρει, μπορούμε εύκολα να βρούμε την απλή μαθηματική σχέση που μας δίνει την ισχύ κάθε ηλεκτρικής συσκευής. Δεν έχουμε παρά να συνδυάσουμε την σχέση ορισμού της ισχύος $P = E/t$ με την σχέση που μας δίνει την ηλεκτρική ενέργεια $E = V \cdot I \cdot t$ που καταναλώνει μια συσκευή. Ιδού

Η ισχύς μιας ηλεκτρικής συσκευής.

$$P = \frac{E}{t} \xrightarrow{E=V \cdot I \cdot t} P = V \cdot I. \quad (2.14)$$

Η σχέση αυτή μας λέει ποια είναι η ισχύς μιας οποιασδήποτε ηλεκτρικής συσκευής στα άκρα της οποίας υπάρχει διαφορά δυναμικού V και διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα έντασης I .

Μάλιστα, στην ειδική περίπτωση που η συσκευή μας είναι ένας αντιστάτης τότε η σχέση αυτή μπορεί, με την βοήθεια του νόμου του Ohm, να πάρει δύο ακόμα χρήσιμες μορφές

$$P_R = V_R \cdot I_R \xrightarrow{V_R=I_R \cdot R} P_R = I_R^2 \cdot R \quad (2.15\alpha')$$

$$P_R = V_R \cdot I_R \xrightarrow{I_R=V_R/R} P_R = \frac{V_R^2}{R} \quad (2.15\beta')$$

όπου R η αντίσταση του αντιστάτη, I_R είναι η ένταση του ρεύματος που τον διαρρέει και V_R η διαφορά δυναμικού στα άκρα του.

Ασκήσεις:

- Ένας φακός λειτουργεί με δύο μπαταρίες AAA, κάθε μια από τις οποίες έχει τάση $1,5V$, συνδεδεμένες σε σειρά ώστε να εξασφαλίζουν τάση $3V$ σε ένα λαμπάκι πυρακτώσεως το οποίο όταν είναι αναμμένο παρουσιάζει αντίσταση $R = 6\Omega$.
 - Σχεδιάστε το κύκλωμα του φακού με τον συμβολισμό των φυσικών.
 - Ποιο είναι το ρεύμα που διαρρέει το λαμπάκι;
 - Χρησιμοποιήστε την σχέση 2.14 για να βρείτε την ισχύ της λάμπας.
 - Χρησιμοποιήστε την σχέση 2.15β' για να βρείτε την ισχύ της λάμπας.
 - Χρησιμοποιήστε την σχέση 2.15α' για να βρείτε την ισχύ της λάμπας.
 - Πόση ενέργεια καταναλώνει το λαμπάκι μέσα σε χρονικό διάστημα $10s$;
 - Το λαμπάκι στην βάση του έχει τυπωμένες τις εξής πληροφορίες: $3V$, $1,5W$, $0,5A$. Τι πιστεύετε ότι θα πάθει το λαμπάκι αν το συνδέσουμε σε μια πηγή τάσεως $9V$. Γιατί;
- Στον προηγούμενο φακό αντικαθιστούμε το λαμπάκι με ένα αντίστασης $R = 3\Omega$.
 - Η ισχύς του φακού έγινε μεγαλύτερη ή μικρότερη;
 - Σας φαίνεται λογικό χρησιμοποιώντας μικρότερη αντίσταση να παίρνεται αυτό το αποτέλεσμα;

2.4.3 Το ηλεκτρικό ρεύμα στο σπίτι μας.

Όπως όλοι μάλλον γνωρίζετε, το ηλεκτρικό δίκτυο στην χώρα μας παρέχει εναλλασσόμενη τάση $V_\delta = 220V$, οπότε η διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων στο εσωτερικό κάθε πρίζας στο σπίτι σας είναι $220V$ και έτσι όλες οι οικιακές συσκευές είναι σχεδιασμένες να λειτουργούν με την τάση αυτή.

Κάποιες από αυτές τις οικιακές συσκευές έχουν μεγάλη ισχύ, π.χ. ο φούρνος, οι εστίες, ο θερμοσίφωνας, το κλιματιστικό, κ.α. ενώ κάποιες άλλες πολύ

μικρότερη π.χ. ο φορτιστής ενός τηλεφώνου, ένα laptop, μια λάμπα οικονομίας, μια τηλεόραση κ.α. Όταν βάζουμε σε λειτουργία μια ηλεκτρική συσκευή μεγάλης ισχύος P , τόσο μεγαλύτερο είναι το ρεύμα I το οποίο διέρχεται από αυτή, αφού για κάθε ηλεκτρική συσκευή έχουμε

$$P = V_{\delta} \cdot I \Rightarrow I = \frac{P}{V_{\delta}}$$

δηλαδή το ρεύμα I που διαρρέει μια συσκευή είναι ανάλογο της ισχύος της συσκευής P , αφού η τάση V_{δ} είναι πάντα σταθερή. Για παράδειγμα σύμφωνα με την παραπάνω σχέση, αν συνδέσουμε σε μια πρίζα ένα ψυγείο ισχύος π.χ. $P_{\kappa} = 220\text{W}$ τότε αυτό θα διαρρέεται από ρεύμα έντασης $I_{\kappa} = 1\text{A}$, ενώ αν συνδέσουμε ένα ηλεκτρικό καλοριφέρ 2.200W αυτό θα διαρρέεται από ρεύμα έντασης $I_{\kappa} = 10\text{A}$.

Καθώς όμως και τα καλώδια που μεταφέρουν το ρεύμα στην συσκευή έχουν αντίσταση, όταν διαρρέονται από ρεύμα θερμαίνονται. Όταν λοιπόν τα καλώδια τροφοδοτούν μια συσκευή πολύ μεγάλης ισχύος τότε θα διαρρέονται από πολύ μεγάλο ρεύμα και έτσι είναι δυνατό να υπερθερμανθούν και να καταστραφούν ή ακόμα και να πάρουν φωτιά. Για να αποφευχθεί αυτό, το ρεύμα πριν τα καλώδια διέρχεται από τις ασφάλειες οι οποίες διακόπτουν το κύκλωμα εάν περάσει από το καλώδιο περισσότερο ρεύμα από αυτό που αντέχει.

Ασκήσεις:

1. Ένας μαθητής στο δωμάτιο του έχει δύο πρίζες. Η μια παίρνει ρεύμα από μια ασφάλεια 10A και η δεύτερη από μια ασφάλεια 16A . Σε ποια πρίζα θα συνδέατε ένα ηλεκτρικό καλοριφέρ με ισχύ 2.500W ;
2. Στον ηλεκτρολογικό πίνακα του σπιτιού σας κήκε μια ασφάλεια 10A αλλά, όσο και να ψάξατε, δεν βρήκατε ίδια ασφάλεια, αλλά μια των 16A . Σας φαίνεται καλή ιδέα να χρησιμοποιήσετε αυτήν για να αντικαταστήσετε την καμένη;

Κεφάλαιο 3

Ταλαντώσεις – Κύματα

3.1 Εισαγωγή

Η σημασία της κίνησης Στη Β' Γυμνασίου αφιερώσαμε δύο κεφάλαια για την μελέτη της κίνησης. Η δικαιολογία μας τότε ήταν ότι τα περισσότερα φαινόμενα που παρατηρούμε γύρω σχετίζονται με την κίνηση. Για παράδειγμα το ηλεκτρικό ρεύμα, που έως τώρα μελετούσαμε, σχετίζεται με την κίνηση των φορτίων, ο άνεμος οφείλεται στην οργανωμένη κίνηση των μορίων του αέρα, ενώ η δημιουργία των σύννεφων στην κίνηση των μορίων του νερού προς τα πάνω. Οι κινήσεις που μελετήσαμε την περασμένη χρονιά ήταν οι απλούστερες δυνατές όπως π.χ. η βόλτα ενός καθηγητή από την μια άκρη της τάξης στην άλλη ή το ταξίδι ενός διαστημοπλοίου στο ηλιακό μας σύστημα.

Οι ταλαντώσεις στον κόσμο γύρω μας. Δεν μελετήσαμε όμως κινήσεις που παραμένουν περιορισμένες στον χώρο όπως είναι π.χ οι ταλαντώσεις. Οι ταλαντώσεις είναι εξαιρετικά σημαντικές καθώς σχετίζονται με πάρα πολλά φαινόμενα γύρω μας. Για παράδειγμα ταλάντωση είναι η κίνηση που κάνει ένα δέντρο όταν το φυσάει ο αέρας, η κίνηση που κάνει μια πολυκατοικία ή μια γέφυρα κατά την διάρκεια ενός σεισμού. Ταλαντώσεις είναι και οι θερμικές κινήσεις των ατόμων μέσα σε ένα στερεό σώμα, αλλά και η κίνηση που κάνει η χορδή μιας κιθάρας ή η μεμβράνη ενός ηχείου που παίζει μουσική αλλά και τα ηλεκτρόνια μέσα στην κεραία του τηλεφώνου σας όταν στέλνετε κάποιο μήνυμα. Ελπίζω να πειστήκατε ότι οι ταλαντώσεις σχετίζονται με πολλά και σημαντικά φυσικά φαινόμενα, οπότε είναι καλή ιδέα να τις μελετήσουμε.

Τι είναι η ταλάντωση. Τι είναι όμως ακριβώς μια ταλάντωση; **Ταλάντωση** ονομάζουμε την επαναλαμβανόμενη παλινδρομική κίνηση ενός σώματος γύρω από κάποια θέση. Αν αυτός ο ορισμός δεν σας λέει πολλά σίγουρα θα καταλάβετε τι είναι μια ταλάντωση παρατηρώντας τα πολλά παραδείγματα ταλάντωσης που υπάρχουν γύρω σας όπως π.χ. η κίνηση ενός παιδιού στην κούνια, η κίνηση ενός εκκρεμούς ή η κίνηση ενός σώματος που είναι προσαρτημένο στο άκρο ενός ελατηρίου.

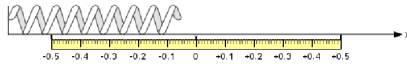
Προσεχώς. Όπως πάντα συνηθίζουν οι Φυσικοί, θα ξεκινήσουμε μελετώντας την πιο απλή ταλάντωση που είναι αυτή που εκτελεί ένα σώματος που βρίσκεται προσαρτημένο στο άκρο ενός ελατηρίου. Θα ξεκινήσουμε με την περιγραφή της κίνησης, θα δούμε δηλαδή πως μεταβάλλεται η θέση, η ταχύτητα και η επιτάχυνση του σώματος κατά την διάρκεια της ταλάντωσης, αλλά θα αναζητήσουμε και ποιες είναι οι δυνάμεις που του ασκούνται και το αναγκάζουν να εκτελέσει την κίνηση αυτή. Τέλος θα ορίσουμε και κάποια καινούργια φυσικά μεγέθη τα οποία μας βοηθούν να περιγράψουμε μια ταλάντωση.

3.2 Μια απλή ταλάντωση

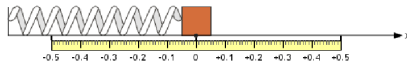
Ο απλούστερος ταλαντωτής.

Όπως είπαμε και προηγουμένως η απλούστερη ταλάντωση που μπορούμε να μελετήσουμε είναι αυτή που μπορεί να εκτελέσει ένα σώμα όταν είναι συνδεδεμένο στο άκρο ενός ελατηρίου. Ας δούμε πως μπορούμε να κατασκευάσουμε μια τέτοια διάταξη για να μελετήσουμε τις ταλαντώσεις.

Παίρνουμε ένα ελατήριο στερεωμένο στο αριστερό άκρο του σε ακλόνητο σημείο, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Το μήκος του ελατηρίου όταν αυτό ισορροπεί ελεύθερο όπως στο σχήμα ονομάζεται **φυσικό μήκος** του ελατηρίου.



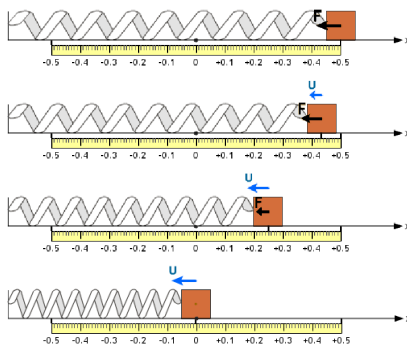
Στο δεξί άκρο του ελατηρίου συνδέσουμε τώρα ένα σώμα οπότε παίρνουμε το σύστημα σώματος -ελατηρίου του παρακάτω σχήματος.



Στην θέση αυτή του σώματος δεν του ασκείται καμία δύναμη καθώς το ελατήριο έχει το φυσικό του μήκος. Η θέση αυτή του σώματος στην οποία η συνολική δύναμη που του ασκείται είναι μηδενική ονομάζεται **θέση ισορροπίας**. Για να απλοποιήσουμε τα πράγματα, θα θεωρήσουμε στη συνέχεια ότι δεν υπάρχουν καθόλου τριβές κατά την κίνηση του σώματος και του ελατηρίου.

Περιγραφή μιας ταλάντωσης.

Ένας τρόπος για να αναγκάσουμε τώρα το σύστημα αυτό να εκτελέσει ταλάντωση είναι ο εξής. Απομακρύνουμε το σώμα από τη θέση ισορροπίας π.χ. προς τα δεξιά, μέχρι κάποια μέγιστη απομάκρυνση όπου το ακινητοποιούμε. Στη θέση αυτή το ελατήριο ασκεί στο σώμα δύναμη προς τα αριστερά όπως φαίνεται στο πρώτο από τα σχήματα που ακολουθούν.¹ Αν τώρα αφήσουμε το σώμα ελεύθερο αυτό θα επιταχυνθεί προς την θέση ισορροπίας και μάλιστα όσο πλησιάζει σε αυτήν η δύναμη που του ασκεί το ελατήριο θα μειώνεται² ενώ η ταχύτητα θα αυξάνεται. Όταν το σώμα βρίσκεται στη θέση ισορροπίας τότε η δύναμη που του ασκεί το ελατήριο είναι ακριβώς μηδέν, οπότε στο σημείο εκείνο το σώμα παύει να επιταχύνεται.



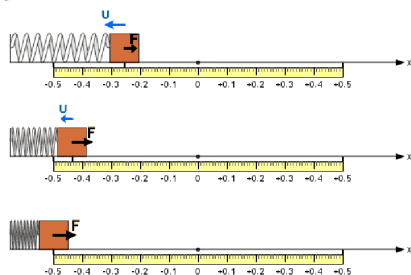
Μόλις το σώμα ξεπεράσει το σημείο ισορροπίας τότε η δύναμη που ασκεί το ελατήριο στο σώμα έχει φορά προς τα δεξιά οπότε το σώμα αρχίζει να επιβραδύνεται. Όσο περισσότερο απομακρύνεται από την θέση ισορροπίας τόσο μεγαλύτερη

¹ Φυσικά στο σώμα ασκούνται και οι κατακόρυφες δυνάμεις του βάρους του και της κάθετης αντίδρασης του δαπέδου. Αυτές όμως στην περίπτωση μας είναι αντίθετες μεταξύ τους οπότε έχουν συνισταμένη μηδέν. Μπορούμε λοιπόν να τις αγνοήσουμε χωρίς τύψεις.

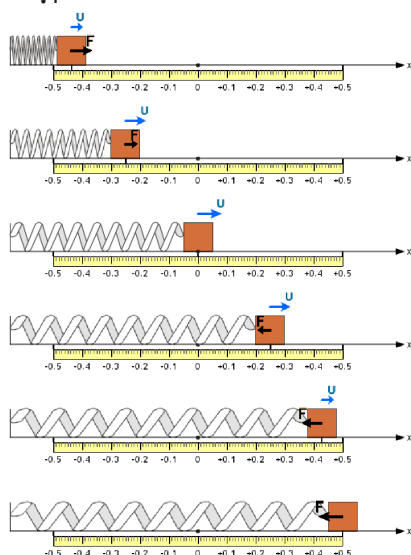
² Όπως γνωρίζουμε από την Β' Γυμνασίου, η δύναμη που ασκεί ένα ελατήριο είναι ανάλογη της επιμήκυνσής του. Όταν λοιπόν το σώμα πλησιάζει στην θέση ισορροπίας του η επιμήκυνση του ελατηρίου μειώνεται οπότε και η δύναμη που ασκείται στο σώμα.

3.2. ΜΙΑ ΑΠΛΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ

γίνεται η δύναμη ενώ η ταχύτητα μικραίνει. Όταν το σώμα αποκτήσει απομάκρυνση από την θέση ισορροπίας ίση με την αρχική απομάκρυνση τότε ακινητοποιείται όπως φαίνεται στο τελευταίο από τα σχήματα που ακολουθούν.



Στην συνέχεια η δύναμη του ελατηρίου επιταχύνει το σώμα και πάλι προς τα δεξιά μέχρι το σώμα να φτάσει τη θέση ισορροπίας. Μετά τη θέση ισορροπίας η δύναμη αλλάζει και πάλι φορά οπότε το σώμα επιβραδύνεται μέχρι να φτάσει, ακίνητο πια, στην θέση με την μέγιστη απομάκρυνση προς τα δεξιά, όπως φαίνεται στα στιγμιότυπα που ακολουθούν.



Το σώμα βρίσκεται τώρα και πάλι ακίνητο στην θέση από την οποία ξεκίνησε την ταλάντωση, οπότε λέμε ότι έχει πραγματοποιήσει μια πλήρη ταλάντωση. Όπως καταλαβαίνετε το σώμα θα ξεκινήσει τώρα άλλη μια ταλάντωση και θα το επαναλάβει ξανά και ξανά, εφόσον δεν υπάρχουν τριβές. Αν δεν με πιστεύετε δεν έχετε παρά να επισκεφτείτε τον σύνδεσμο http://phet.colorado.edu/sims/mass-spring-lab/mass-spring-lab_el.html για να παρατηρήσετε την εξέλιξη της ταλάντωσης ζωντανά. Η ταλάντωση αυτή που εκτελεί το σύστημα σώματος-ελατηρίου απουσία τριβών ονομάζεται **αρμονική ταλάντωση**.

3.2.1 Τα χαρακτηριστικά μιας ταλάντωσης

Είδαμε παραπάνω πως μπορούμε, χρησιμοποιώντας ένα σώμα και ένα ελατήριο, να δημιουργήσουμε μια ταλάντωση. Όπως φαντάζεστε αν επαναλαμβάναμε την διαδικασία χρησιμοποιώντας διαφορετικό ελατήριο ή μάζα ή αν τραβούσαμε αρχικά το ελατήριο πιο δυνατά θα παίρναμε μια ταλάντωση κάπως διαφορετική. Ας δούμε λοιπόν πως θα άλλαζε η ταλάντωση και ποια φυσικά μεγέθη θα χρειαστούμε για να προσδιορίσουμε τις αλλαγές αυτές.

Το πλάτος. Για να δούμε τι θα γινόταν αν αρχικά τραβούσαμε το σώμα ακόμα πιο μα-

κριά από την θέση ισορροπίας. Όπως μπορείτε εύκολα να επαληθεύσετε χρησιμοποιώντας τον προσομοιωτή http://phet.colorado.edu/sims/mass-spring-lab/mass-spring-lab_el.html θα δημιουργούσαμε και πάλι μια ταλάντωση η οποία όμως τώρα θα είναι περισσότερο απλωμένη στον χώρο. Για να διαφοροποιήσουμε την ταλάντωση αυτή από την αρχική, ορίσαμε το φυσικό μέγεθος **πλάτος της ταλάντωσης** A_0 το οποίο ισούται με την μέγιστη απομάκρυνση του σώματος από την θέση ισορροπίας του.

Η περίοδος. Αν πάλι χρησιμοποιούσαμε σώμα διαφορετικής μάζας ή ελατήριο διαφορετικής σκληρότητας. Αυτό θα είχε σαν αποτέλεσμα να αλλάξει ο χρόνος που απαιτείται για να ολοκληρωθεί μια πλήρη ταλάντωση. Τον χρόνο που απαιτείται για να ολοκληρωθεί μια πλήρης ταλάντωση τον ονομάζουμε **περίοδο της ταλάντωσης** και τον συμβολίζουμε με το σύμβολο T .

Η συχνότητα. Εκτός από την περίοδο χρησιμοποιούμε και άλλο ένα φυσικό μέγεθος που σχετίζεται με την διάρκεια της ταλάντωσης. Αυτό είναι η **συχνότητα της ταλάντωσης** f η οποία, όπως δηλώνει και το όνομα της, μας λέει πόσο συχνά επαναλαμβάνεται ένα φυσικό φαινόμενο. Έτσι αν μια ταλάντωση επαναλαμβάνεται N φορές μέσα σε χρονικό διάστημα Δt τότε η συχνότητα της ταλάντωσης θα δίνεται από τη σχέση

$$f = \frac{N}{\Delta t}. \quad (3.1)$$

Από την σχέση αυτή βρίσκουμε ότι οι μονάδες της συχνότητας είναι οι $1/s$. Τι μονάδα αυτή την ονομάζουμε Hertz και την συμβολίζουμε με Hz οπότε $Hz = 1/s$.

Επειδή μέσα σε χρονικό διάστημα μιας περιόδου $\Delta t = T$ η ταλάντωση επαναλαμβάνεται μια μόνο φορά $N = 1$, αν εφαρμόσουμε την παραπάνω σχέση ορισμού της συχνότητας για χρονικό διάστημα μίας περιόδου T βρίσκουμε τη σχέση που συνδέει την συχνότητα με την περίοδο.

$$f = \frac{N}{\Delta t} \xrightarrow[\Delta t = T]{N=1} f = \frac{1}{T}. \quad (3.2)$$

Ας λύσουμε μερικές ασκήσεις για να χαλαρώσουμε.

Ασκήσεις:

- Κατά την διάρκεια μιας ταλάντωσης, σε ποιες θέσεις του σώματος η ταχύτητα του γίνεται μέγιστη;
- Κατά την διάρκεια μιας ταλάντωσης, σε ποιες θέσεις του σώματος η ταχύτητα του γίνεται μηδενική;
- Κατά την διάρκεια μιας ταλάντωσης, σε ποιες θέσεις του σώματος η δύναμη που ασκεί το ελατήριο στο σώμα γίνεται μέγιστη;
- Κατά την διάρκεια μιας ταλάντωσης, σε ποιες θέσεις του σώματος η δύναμη που ασκεί το ελατήριο στο σώμα γίνεται μηδενική;
- Ετοιμάζουμε δύο όμοιες διατάξεις σώματος-ελατηρίου χρησιμοποιώντας ίδια ελατήρια, αλλά με σώματα διαφορετικής μάζας με $m_2 = 10 \cdot m_1$. Απομακρύνουμε σε ίδια απόσταση από την θέση ισορροπίας τα δύο σώματα και στη συνέχεια τα αφήνουμε ελεύθερα να κινηθούν.
 - Κατά την γνώμη σας ποιο σώμα θα αποκτήσει μεγαλύτερη επιτάχυνση;

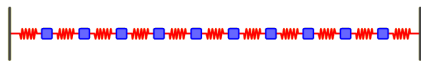
- β) Ποιο θα φτάσει πρώτο στη θέση ισορροπίας;
 - γ) Ποιο θα έχει μεγαλύτερη περίοδο;
 - δ) Πως πιστεύετε ότι εξαρτάται η περίοδος της ταλάντωσης από την μάζα του σώματος;
6. Ετοιμάζουμε δύο όμοιες διατάξεις σώματος-ελατηρίου χρησιμοποιώντας ίδια σώματα αλλά το ένα ελατήριο είναι πιο σκληρό από το άλλο. Απομακρύνουμε σε ίδια απόσταση από την θέση ισορροπίας τα δύο σώματα και στη συνέχεια τα αφήνουμε ελεύθερα να κινηθούν.
- α) Κατά την γνώμη σας ποιο από τα δύο ελατήρια ασκεί πιο μεγάλη δύναμη στο σώμα;
 - β) Κατά την γνώμη σας ποιο θα αποκτήσει μεγαλύτερη επιτάχυνση;
 - γ) Ποιο θα φτάσει πρώτο στη θέση ισορροπίας;
 - δ) Ποιο θα έχει μεγαλύτερη περίοδο;
 - ε) Πως πιστεύετε ότι εξαρτάται η περίοδος της ταλάντωσης από την σκληρότητα του ελατηρίου;
7. Ετοιμάζουμε δύο όμοιες διατάξεις σώματος-ελατηρίου χρησιμοποιώντας ίδια σώματα και ελατήρια. Απομακρύνουμε αρχικά το δεύτερο σώμα σε διπλάσια απόσταση από το πρώτο και στη συνέχεια τα αφήνουμε ελεύθερα να κινηθούν.
- α) Κατά την γνώμη σας ποιανού σώματος η ταλάντωση θα έχει μεγαλύτερη περίοδο;
 - β) Χρησιμοποιήστε τον προσομοιωτή http://phet.colorado.edu/sims/mass-spring-lab/mass-spring-lab_el.html για να ελέγξετε την υπόθεσή σας.
 - γ) Μπορείτε να εξηγήσετε γιατί συμβαίνει αυτό;
 - δ) Πιστεύετε ότι αυτό το συμπέρασμα ισχύει για οποιοδήποτε σύστημα που εκτελεί ταλάντωση;
8. Για να ξεκινήσει το σύστημα σώματος-ελατηρίου την ταλάντωση εμείς τραβήξαμε το σώμα μέχρι την μέγιστη απομάκρυνση, οπότε του δώσαμε ενέργεια 10J.
- α) Σε τι μορφή βρίσκεται αυτή η ενέργεια όταν το σώμα βρίσκεται στην μέγιστη απομάκρυνση. Πόση είναι;
 - β) Σε τι μορφή βρίσκεται αυτή η ενέργεια όταν το σώμα βρίσκεται ανάμεσα στην μέγιστη απομάκρυνση και την θέση ισορροπίας; Πόση είναι;
 - γ) Σε τι μορφή βρίσκεται αυτή η ενέργεια όταν το σώμα βρίσκεται στην θέση ισορροπίας; Πόση είναι;
 - δ) Σε ποιο σημείο της ταλάντωσης η συνολική ενέργεια του συστήματος σώμα-ελατήριο παίρνει τη μεγαλύτερη τιμή;

3.3 Κύματα

Τα κύματα γύρω μας.

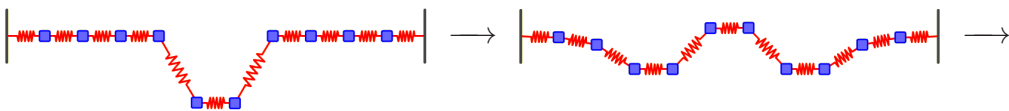
Η κίνηση του απλού συστήματος σώμα-ελατήριο που μελετήσαμε παραπάνω σχετίζεται άμεσα και με τις κινήσεις που ονομάζουμε μηχανικά κύματα. Τέτοιες κινήσεις σίγουρα έχετε παρατηρήσει πολλές φορές στην ζωή σας για παράδειγμα τα κύματα της θάλασσας, τα κύματα στη χορδή μιας κιθάρας, τα ηχητικά κύματα ή τα σεισμικά κύματα. Όπως θα δούμε τα κύματα είναι μια περίεργη μορφή κίνησης ενός σώματος στην οποία το σώμα δεν μετακινείται (!!!) αλλά ταξιδεύει κατά μήκος του σώματος μια παραμόρφωση η οποία μεταφέρει ενέργεια. Ένα καλό παράδειγμα κύματος είναι αυτό που δημιουργείται όταν μια σταγόνα νερού πέσει στο κέντρο μιας λεκάνης που είναι γεμάτη με νερό. Τότε η σταγόνα προκαλεί στην επιφάνεια του νερού μια παραμόρφωση η οποία στη συνέχεια ταξιδεύει από το κέντρο προς την περιφέρεια της λεκάνης μεταφέροντας την ενέργεια της σταγόνας, χωρίς όμως να μεταφέρεται νερό.

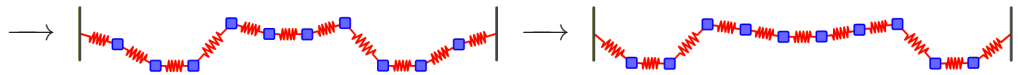
Θα ξεκινήσουμε με απλά παραδείγματα κυμάτων για να ανακαλύψουμε τι ακριβώς είναι τα κύματα, πως μπορούμε να τα δημιουργήσουμε και ποια είναι τα χαρακτηριστικά τους. Το πιο απλό σύστημα στο οποίο μπορούμε να μελετήσουμε τα κύματα είναι ένα σύστημα φτιαγμένο από πολλές μάζες συνδεδεμένες μεταξύ τους με ελατήρια όπως αυτό που φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί. Μπορεί να σας φαίνεται ότι αυτό το σύστημα δεν έχει καμία σχέση με τα καθημερινά αντικείμενα που μας περιβάλλουν, αλλά στην πραγματικότητα συμπεριφέρεται με το ίδιο τρόπο που συμπεριφέρονται τα περισσότερα στερεά σώματα γύρω μας. Η ομοιότητα αποκαλύπτεται αν σκεφτείτε ότι όλα τα στερεά σώματα που μας περιβάλλουν αποτελούνται από μόρια τα οποία συγκρατούνται με ηλεκτρικές δυνάμεις σε κάποια θέση ισορροπίας και τείνουν να επιστρέψουν σε αυτή, όπως ακριβώς συμβαίνει και με τις μάζες στο σύστημα του σχήματος.



Οι παραμορφώσεις ταξιδεύουν.

Ας υποθέσουμε τώρα ότι προκαλούμε στο παραπάνω σύστημα μια παραμόρφωση με μορφή λακούβας, όπως φαίνεται στο πρώτο από τα σχήματα που ακολουθούν, όπου δύο από τις μάζες έχουν απομακρυνθεί από την θέση ισορροπίας τους. Τώρα τα ελατήρια που συνδέουν τις δύο αυτές μάζες με τις γειτονικές τους, τις αναγκάζουν να επιστρέψουν προς την θέση ισορροπίας τους. Όμως της ίδια στιγμή τα ελατήρια τραβάνε και τις γειτονικές μάζες προς τα κάτω με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν δύο παραμορφώσεις εκατέρωθεν της αρχικής. Όπως φαίνεται στα σχήματα που ακολουθούν, η αρχική παραμόρφωση χωρίστηκε σε δύο όμοιες, αλλά μικρότερες, παραμορφώσεις οι οποίες ταξιδεύουν προς τα δεξιά και προς τα αριστερά του συστήματος με σταθερή ταχύτητα, όπως μπορείτε να διαπιστώσετε παίζοντας με την προσομοίωση στο http://phet.colorado.edu/sims/normal-modes/normal-modes_en.html

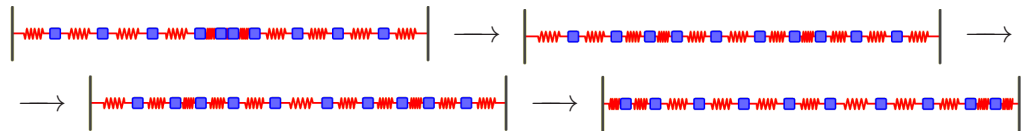


**Εγκάρσια κύματα.**

Στο κύμα που μόλις μελετήσαμε τα σώματα του συστήματος κινήθηκαν στην κατακόρυφη διεύθυνση κάθετα δηλαδή στην διεύθυνση διάδοσης του κύματος που είναι η οριζόντια. Τέτοια κύματα στα οποία η κίνηση των μαζών γίνεται κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος ονομάζονται **εγκάρσια κύματα**. Τα εγκάρσια κύματα μπορούν να διαδοθούν μόνο σε στερεά σώματα και στην επιφάνεια των ρευστών και όχι στο εσωτερικό υγρών ή αερίων σωμάτων.

Διαμήκη κύματα.

Εκτός από τα εγκάρσια κύματα που μόλις είδαμε μπορούμε να δημιουργήσουμε στο σύστημα μας και διαφορετικού τύπου κύματα μετατοπίζοντας τα σώματα πάνω στην διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Για παράδειγμα στο πρώτο από τα σχήματα που ακολουθούν έχουμε φέρει πιο κοντά μεταξύ τους τα σώματα στο κέντρο του συστήματος όπου έχουμε δημιουργήσει ένα πύκνωμα. Όταν τώρα αφήσουμε τις μάζες να κινηθούν ελεύθερα διαπιστώνουμε ότι η παραμόρφωση αυτή χωρίζεται και πάλι σε δύο μικρότερου πλάτους οι οποίες κινούνται προς τα δεξιά και προς τα αριστερά, όπως φαίνεται στα σχήματα που ακολουθούν.



Κύματα σαν το προηγούμενο στα οποία η κίνηση των μαζών γίνεται στην διεύθυνση διάδοσης του κύματος ονομάζονται **διαμήκη κύματα**. Τα διαμήκη κύματα μπορούν να διαδίδονται στο εσωτερικό τόσο των στερεών όσο και των υγρών και των αερίων.

Τι μεταφέρει ένα κύμα;

Καθώς η παραμόρφωση που μελετήσαμε ταξιδεύει, ταξιδεύει και η δυναμική ενέργεια των παραμορφωμένων ελατηρίων και η κινητική ενέργεια των κινούμενων μαζών που συνοδεύουν την παραμόρφωση, δηλαδή το κύμα μεταφέρει μηχανική ενέργεια κατά μήκος του σώματος. Για τον λόγο αυτό τα κύματα αυτά ονομάζονται **μηχανικά κύματα**. Προσέξτε ότι παρότι ένα κύμα μεταφέρει ενέργεια δεν μεταφέρεται μάζα!

Το μέσο διάδοσης

Το υλικό μέσα στο οποίο διαδίδεται το κύμα ονομάζεται **μέσο διάδοσης του κύματος**. Όπως μπορείτε να διαπιστώσετε παίζοντας με την προσομοίωση το κύμα ταξιδεύει πάντα με την ίδια ταχύτητα ανεξάρτητα από το σχήμα ή το πλάτος της παραμόρφωσης. Η ταχύτητα εξαρτάται μόνο από τα χαρακτηριστικά του μέσου διάδοσης στην περίπτωση μας από την μάζα των σωμάτων και την σκληρότητα των ελατηρίων. Έτσι για παράδειγμα ο ήχος έχει άλλη ταχύτητα στον αέρα και άλλη στο νερό ή στο τσιμέντο αφού τα μέσα αυτά έχουν τελείως διαφορετικές ιδιότητες.

Ασκήσεις:

1. Είδαμε ότι η αρχική παραμόρφωση που προκαλέσαμε σπάει σε δύο μικρότερες οι οποίες κινούνται προς τα δεξιά και τα αριστερά. Είναι απαραίτητο οι δύο αυτές παραμορφώσεις να είναι μικρότερες από την αρχική; Ποια σημαντική αρχή της φυσικής το επιβάλλει;
2. Πως πιστεύετε ότι θα άλλαζε η ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων αν τα σώματα είχαν μεγαλύτερη μάζα;

3. Πως πιστεύετε ότι θα άλλαζε η ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων αν τα ελατήρια είχαν μεγαλύτερη σκληρότητα ;
4. Πως πιστεύετε ότι θα άλλαζε η ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων αν η αρχική παραμόρφωση είχε άλλο σχήμα ;
5. Πως πιστεύετε ότι θα άλλαζε η ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων αν οι αρχικές απομακρύνσεις ήταν μεγαλύτερες ;
6. Στο εσωτερικό των υγρών και των αερίων δεν μπορούν να διαδοθούν εγκάρσια κύματα. Γιατί άραγε ;
7. Ο ήχος είναι ένα κύμα που διαδίδεται και στον αέρα. Είναι διαμήκες ή εγκάρσιο ;
8. Όπως όλοι γνωρίζουμε όσο πιο μακριά βρισκόμαστε από μια πηγή ήχου τόσο λιγότερο την ακούμε. Γιατί άραγε συμβαίνει αυτό ;

3.3.1 Αρμονικά κύματα

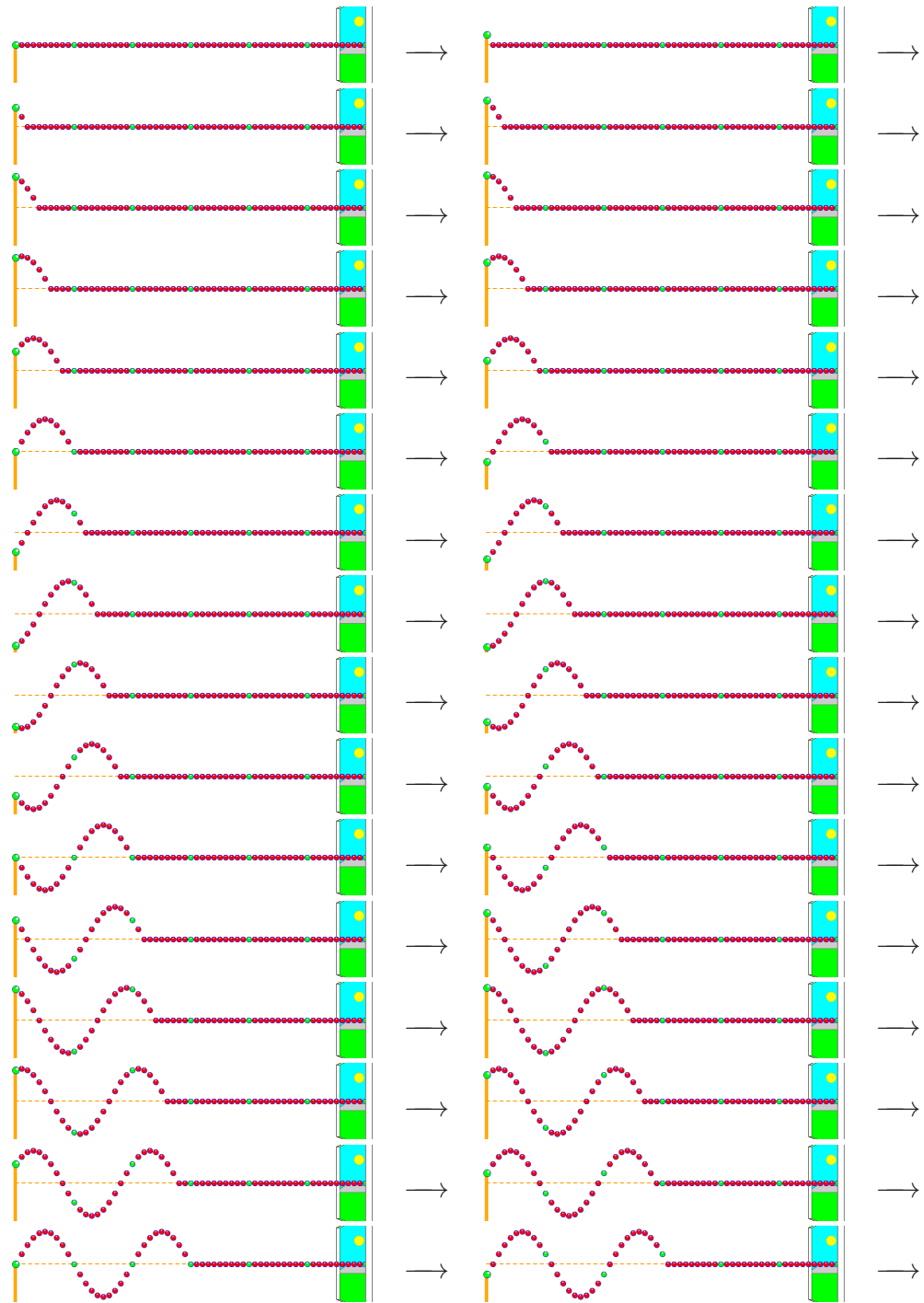
Αρμονικά κύματα.

Όπως είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο, κύμα αποτελεί οποιοδήποτε παραμόρφωση ταξιδεύει μέσα σε κάποιο υλικό μεταφέροντας ενέργεια. Έτσι κύμα μπορεί να είναι μια κινούμενη παραμόρφωση τριγωνικού, τετραγωνικού, ημικυκλικού ή οποιουδήποτε άλλου σχήματος και μεγέθους. Μεταξύ όλων των διαφορετικών κυμάτων που μπορούμε να φτιάξουμε υπάρχει μια κατηγορία κυμάτων τα οποία έχουν ιδιαίτερη σημασία για την κατανόηση οποιουδήποτε φαινομένου σχετίζεται με τα κύματα. Τα σημαντικά αυτά κύματα ονομάζονται **αρμονικά κύματα** και είναι τα κύματα εκείνα που έχουν μορφή παρόμοια με αυτή των κυμάτων της θάλασσας που όλοι γνωρίζουμε.

Πως θα μπορούσαμε άραγε να φτιάξουμε ένα τέτοιο αρμονικό κύμα σε μια αλυσίδα που αποτελείται από μάζες και ελατήρια όπως αυτή που μελετήσαμε στην προηγούμενη παράγραφο ; Ο καλύτερος τρόπος είναι να μελετήσουμε τα κύματα της θάλασσας και να τα αντιγράψουμε. Όποιος έχει βρεθεί μέσα σε βάρκα όταν η θάλασσα έχει κύματα σίγουρα θα έχει προσέξει ότι η βάρκα ανεβοκατεβαίνει εκτελώντας μια κίνηση που μοιάζει πολύ με την αρμονική ταλάντωση που μελετήσαμε στην αρχή του κεφαλαίου. Άρα, για να δημιουργήσουμε και εμείς ένα κύμα σαν αυτό της θάλασσας μοιάζει καλή ιδέα να αναγκάσουμε κάποιο από τα σώματα της αλυσίδας να κάνει αρμονική ταλάντωση. Η κίνηση αυτή θα ταξιδέψει προς όλα τα γειτονικά σώματα της αλυσίδας, οπότε θα κάνουν και αυτά αρμονική ταλάντωση όπως ακριβώς συμβαίνει και στα κύματά της θάλασσας.

Δημιουργώντας ένα αρμονικό κύμα.

Αυτή ακριβώς την διαδικασία εφαρμόζουμε στην αλυσίδα που εμφανίζεται στις εικόνες που ακολουθούν. Συνδέουμε το πρώτο σώμα της αλυσίδας με μια ράβδο με την οποία μπορούμε να του ασκούμε κατάλληλη δύναμη ώστε να το αναγκάσουμε να εκτελέσει αρμονική ταλάντωση. Καθώς το σώμα απομακρύνεται από την θέση ισορροπίας το ελατήριο που το συνδέει με το δεύτερο σώμα επιμηκύνεται, οπότε η κίνηση του πρώτου σώματος μεταφέρεται και στο δεύτερο και στη συνέχεια στο τρίτο και ούτω καθεξής. Μετά από λίγη ώρα όλα τα σώματα της αλυσίδας θα κάνουν αρμονική ταλάντωση, όπως ακριβώς και το πρώτο με την διαφορά ότι κάθε ένα αρχίζει την κίνηση με κάποια καθυστέρηση ανάλογα με τον χρόνο που χρειάζεται η παραμόρφωση να φτάσει σε αυτό.



Τα παραπάνω φαίνονται καθαρά στα παραπάνω σχήματα στα οποία φαίνονται διαδοχικά στιγμιότυπα (φωτογραφίες) του κύματος. Όπως βλέπουμε το πρώτο σώμα ξεκινάει την ταλάντωση στην πρώτη εικόνα από την θέση ισορροπίας κινούμενο προς τα πάνω και ολοκληρώνει μια πλήρη ταλάντωση στην εικοστή πρώτη εικόνα. Αν τώρα στρέψουμε την προσοχή μας στο ενδέκατο σώμα βλέπουμε ότι κάνει την ίδια ακριβώς ταλάντωση με το πρώτο σώμα, αλλά αρχίζει την κίνηση στην ενδέκατη εικόνα και ολοκληρώνει μια πλήρη ταλάντωση στην τριακοστή πρώτη εικόνα. Ο λόγος που το ενδέκατο σώμα δεν κινείται πριν το ενδέκατο στιγμιότυπο είναι ότι μέχρι τότε δεν έχει φτάσει ακόμα το κύμα σε αυτό. Το χρονικό διάστημα που θα καθυστερήσει κάθε σώμα να ξεκινήσει την κίνηση του εξαρτάται από την απόσταση του από το πρώτο σώμα και από την ταχύτητα διάδοσης του κύματος.

Από τις παραπάνω εικόνες παρατηρούμε ότι η μορφή του κύματος θα προέκυπτε ίδια αν το πρώτο σώμα ήταν ένα μολύβι το οποίο αποτυπώνει την κίνηση του σε ένα χαρτί το οποίο κινείται προς τα δεξιά με ταχύτητα ίση με την ταχύτητα διάδοσης του κύματος. Σε αντίθεση όμως με το παράδειγμα του χαρτού, στα κύματα δεν έχουμε μεταφορά μάζας κατά την διεύθυνση διάδοσης του κύματος παρά μόνο μεταφορά ενέργειας!

Φυσικά, όπως και κάθε τύπος κύματος έτσι και τα αρμονικά κύματα μπορούν να είναι είτε εγκάρσια, όπως αυτά που περιγράψαμε, είτε διαμήκη στα οποία κάθε σώμα εκτελεί και πάλι αρμονική ταλάντωση αλλά αυτή τη φορά στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος.

3.3.2 Τα χαρακτηριστικά ενός αρμονικού κύματος

Τα χαρακτηριστικά ενός αρμονικού κύματος.

Όπως σίγουρα έχετε προσέξει, τα κύματα της θάλασσας δεν είναι κάθε μέρα ίδια. Όπως λοιπόν κάποιες μέρες έχουμε τρικυμία ενώ κάποιες άλλες θάλασσα ελαφρώς ταραγμένη, έτσι μπορούμε να φτιάξουμε και διαφορετικά αρμονικά κύματα π.χ. πιο ψηλά ή πιο φαρδιά. Φυσικά, οι φυσικοί για να περιγράψουν τα διαφορετικά αρμονικά κύματα χρησιμοποιούν κατάλληλα φυσικά μεγέθη τα οποία είναι το **πλάτος** A_0 , η **περίοδος** T , η **συχνότητα** f , και το **μήκος κύματος** λ του αρμονικού κύματος. Απαραίτητο φυσικό μέγεθος για την κατανόηση των αρμονικών κυμάτων είναι και η **ταχύτητα διάδοσης του κύματος** v , η οποία όπως έχουμε ήδη πει εξαρτάται μόνο από το μέσο διάδοσης και όχι από τα χαρακτηριστικά του κύματος.

Το πλάτος.

Τα φυσικά μεγέθη πλάτος, περίοδο και συχνότητα τα έχουμε ήδη χρησιμοποιήσει για την περιγραφή των χαρακτηριστικών των αρμονικών ταλαντώσεων. Αν αναρωτιέστε τι δουλειά έχουν στην περιγραφή των αρμονικών κυμάτων δεν έχετε παρά να θυμηθείτε ότι κάθε σημείο του μέσου μέσα στο οποίο διαδίδεται ένα αρμονικό κύμα εκτελεί αρμονική ταλάντωση. Έτσι το πλάτος η περίοδος και η συχνότητα της ταλάντωσης του κάθε σημείου του μέσου διάδοσης είναι και πλάτος, περίοδος και συχνότητα του αρμονικού κύματος.

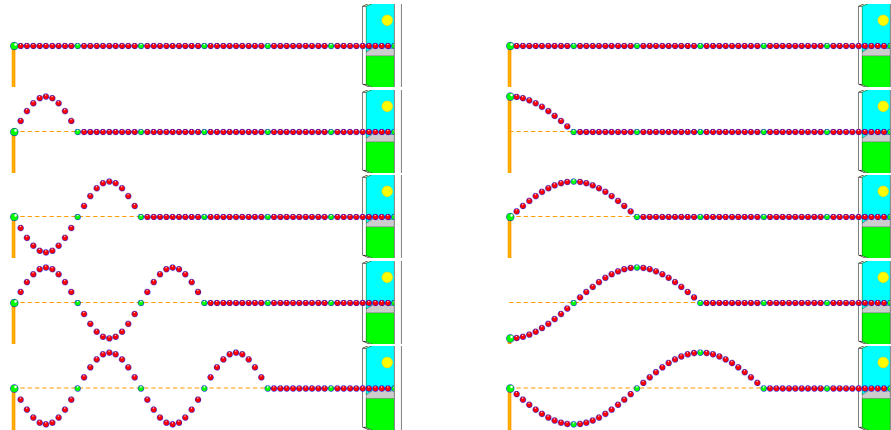
Για να φτιάξουμε λοιπόν αρμονικά κύματα διαφορετικού πλάτους ή συχνότητας στην αλυσίδα σωμάτων-ελατηρίων δεν έχουμε παρά να αλλάξουμε το πλάτος ή την συχνότητα της ταλάντωσης του πρώτου σώματος. Για παράδειγμα στα κύματα των εικόνων που ακολουθούν βλέπουμε δύο στιγμιότυπα από κύματα διαφορετικού πλάτους. Για να δημιουργήσουμε το κύμα στην αριστερή εικόνα αναγκάσαμε το πρώτο σώμα να εκτελέσει αρμονική ταλάντωση διπλάσιου πλάτους από ότι στην περίπτωση του κύματος της δεξιάς εικόνας. Το πλάτος ενός κύματος σχετίζεται με την ενέργεια που μεταφέρει το κύμα. Όσο μεγαλύτερο είναι το πλάτος του κύματος τόσο περισσότερη και η ενέργεια που μεταφέρει το κύμα.



Η περίοδος.

Για να δημιουργήσουμε ένα κύμα διπλάσιας περιόδου από το αρχικό μας παράδειγμα θα πρέπει και πάλι να θέσουμε το πρώτο σώμα σε ταλαντωτική κίνηση αλλά αυτή τη φορά η ταλάντωση αυτή θα πρέπει να έχει διπλάσια περίοδο από την αρχική δηλαδή $T' = 2T$. Στην περίπτωση αυτή κάθε σημείο του μέσου διάδοσης θα εκτελεί και πάλι ταλάντωση αλλά με διπλάσια περίοδο. Πως θα μοιάζει όμως άραγε η μορφή του κύματος με την διπλάσια περίοδο από το αρχικό κύμα; Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνονται στιγμιότυπα του αρχικού κύματος αριστερά και του κύματος με την διπλάσια περίοδο στα δεξιά για τις χρονικές στιγμές $0, T, T/2,$

$3T/2$, $2T$. Όπως βλέπουμε στις εικόνες τα δύο κύματα παρουσιάζουν κάποιες ομοιότητες αλλά και κάποιες διαφορές. Ας τις ανακαλύψουμε.



Μια ομοιότητα είναι ότι και στα δύο κύματα το πρώτο σώμα ξεκινάει την κίνηση τη χρονική στιγμή 0 από την θέση ισορροπίας με κατεύθυνση προς τα επάνω. Μια δεύτερη ομοιότητα είναι ότι και τα δύο κύματα κάθε χρονική στιγμή έχουν διαδοθεί μέχρι το ίδιο ακριβώς σημείο της αλυσίδας, αφού μεταδίδονται στο ίδιο μέσο και άρα έχουν την ίδια ταχύτητα. Για παράδειγμα τη χρονική στιγμή T και τα δύο έχουν φτάσει στο εικοστό σώμα, ενώ την χρονική στιγμή $2T$ και τα δύο έχουν φτάσει στο σαρακοστό σώμα.

Ας δούμε τις διαφορές τώρα. Από τις εικόνες βλέπουμε ότι το σχήμα τους είναι παρόμοιο αλλά διαφέρουν στην απόσταση μεταξύ διαδοχικών κορυφών και κοιλάδων. Για να καταλάβουμε γιατί συμβαίνει αυτό θα πρέπει να παρακολουθήσουμε προσεκτικά τον τρόπο που δημιουργήσαμε το κύμα ξεκινώντας από την ταλάντωση του πρώτου σώματος. Μέσα στο χρονικό διάστημα των δυο περιόδων το πρώτο σώμα της αριστερής αλυσίδας έχει ολοκληρώσει δύο ταλαντώσεις. Κατά τις δύο αυτές ταλαντώσεις το πρώτο σώμα έχει διέλθει δύο φορές από την πάνω ακραία θέση και δύο φορές από την κάτω ακραία θέση σχηματίζοντας έτσι τα δύο βουνά και τις δύο κοιλάδες του κύματος. Στο ίδιο χρονικό διάστημα στην δεξιά αλυσίδα το πρώτο σώμα έχει διέλθει μια μόνο φορά από την πάνω ακραία θέση και μια από την κάτω ακραία θέση οπότε σχηματίστηκε ένα μόνο βουνό και μια κοιλάδα στο κύμα αυτό.

Το μήκος κύματος.

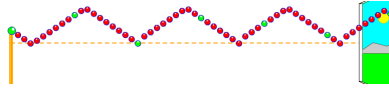
Όπως καταλαβαίνεται ένα καινούργιο μέγιστο του κύματος δημιουργείται κάθε φορά που το πρώτο σώμα της αλυσίδας διέρχεται από την πάνω ακραία θέση, όπως π.χ. συμβαίνει στην έκτη εικόνα του πρώτου μας αρμονικού κύματος. Ένα καινούργιο μέγιστο θα δημιουργηθεί μετά από χρονικό διάστημα μίας περιόδου T όπως φαίνεται στην εικοστή έκτη εικόνα. Όμως κατά την διάρκεια αυτού του χρονικού διαστήματος T το προηγούμενο μέγιστο, το οποίο κινείται με σταθερή ταχύτητα v προς τα δεξιά, θα έχει απομακρυνθεί κατά απόσταση λ που θα δίνεται από τη σχέση

$$\lambda = v \cdot T \xrightarrow{(T=1/f)} \lambda = \frac{v}{f}. \quad (3.3)$$

Η απόσταση αυτή λ ισούται με την απόσταση μεταξύ δύο οποιονδήποτε διαδοχικών μέγιστων του κύματος και ονομάζεται **μήκος κύματος**. Όπως καταλαβαίνετε το μήκος κύματος ισούται και με την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών ελάχιστων και γενικότερα μεταξύ δύο οποιονδήποτε διαδοχικών θέσεων με την ίδια απομάκρυνση και την ίδια κατεύθυνση κίνησης.

Ασκήσεις :

1. Η παρακάτω εικόνα δείχνει στιγμιότυπο ενός κύματος. Είναι το κύμα αυτό αρμονικό ;



2. Σε μια αλυσίδα αποτελούμενη από σώματα και ελατήρια θέτουμε το πρώτο σώμα σε ταλαντωτική κίνηση με συχνότητα 2Hz και πλάτος 10cm.
- Τι τύπου κύμα θα προκύψει ;
 - Ποια θα είναι η συχνότητα του κύματος ;
 - Ποιο θα είναι το πλάτος του κύματος ;
 - Τι κίνηση θα κάνει το εικοστό σώμα της αλυσίδας ;
 - Τι περίοδο θα έχει το εικοστό σώμα της αλυσίδας ;
3. Ένας μπάσος ήχος που διαδίδεται στον αέρα έχει συχνότητα 34Hz και μήκος κύματος 10m. Ποια είναι η ταχύτητα του ήχου στον αέρα ;
4. Ο ήχος διαδίδεται στον αέρα με ταχύτητα 340m/s. Ποια είναι η συχνότητα ενός ηχητικού κύματος με $\lambda = 0,1\text{m}$.

Βιβλιογραφία

- [1] Paul G. Hewitt. **Οι Έννοιες της Φυσικής**. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, 2011.
- [2] Randall D. Knight. **Πέντε Εύκολα Μαθήματα**. ΔΙΑΥΛΟΣ, 2006.
- [3] Richard P. Feynman, Robert B. Leighton, and Matthew Sands. **The Feynman Lectures on Physics**. Narosa Publishing House, 1995.
- [4] Νικόλαος Αντωνίου, Παναγιώτης Δημητριάδης, Κωνσταντίνος Καμπούρης, Κωνσταντίνος Παπαμιχάλης Λαμπρινή Παπατσιμπα. **Φυσική Γ' Γυμνασίου**. ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΔΟΣΕΩΝ «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ», 2012.