

# Σημειώσεις Φυσικής Γ' Γυμνασίου

ΚΟΥΜΟΥΝΔΟΥΡΟΣ ΓΙΑΝΝΗΣ, Φυσικός

Λύσεις των ασκήσεων του σχολικού βιβλίου  
Θεωρία σε σύντομη μορφή

1ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ. Ηλεκτρική δύναμη και φορτίο

«Όταν παίρνει κάποιος μία ιδέα από εμένα, μαθαίνει κάτι χωρίς να μειώνει την δική μου γνώση· όπως όταν ανάβει κάποιος το κερί του από το δικό μου, παίρνει φως χωρίς να αφήνει εμένα στο σκοτάδι.»

ΤΟΜΑΣ ΤΖΕΦΕΡΣΟΝ

## Οδηγίες

Οι σημειώσεις αυτές προορίζονται για τους μαθητές της γ' Γυμνασίου. Αποτελούνται από δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος, θα βρείτε την θεωρία του σχολικού βιβλίου σε σύντομη μορφή και στο δεύτερο μέρος θα βρείτε αναλυτικά τις απαντήσεις στις ερωτήσεις και ασκήσεις του σχολικού βιβλίου. Οι σημειώσεις αυτές είναι προϊόν πολυετούς διδακτικής εμπειρίας.

Το έγγραφο που έχετε μπροστά σας είναι ειδικά κατασκευασμένο για ανάγνωση στην οθόνη ενός συνηθισμένου Laptop. Το μέγεθος του χαρτιού είναι ειδικά σχεδιασμένο για την πλήρη εμφάνιση κάθε σελίδας στην οθόνη. Επίσης στην κεφαλίδα θα βρείτε συνδέσμους προς τον πίνακα περιεχομένων και το αλφαβητικό ευρετήριο το οποίο σας προτρέπω να χρησιμοποιήσετε κατά την μελέτη σας.

Φιλικά, **Κουμουνδούρος Γιάννης, Φυσικός**

ΦΥΣΙΚΗ ΧΗΜΕΙΑ  
ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ

ΓΥΜΝΑΣΙΟ ΛΥΚΕΙΟ

Τηλ. 6976370771  
johnkoum1@yahoo.gr

<https://johnksciense.blogspot.com>



ΚΟΥΜΟΥΝΔΟΥΡΟΣ ΓΙΑΝΝΗΣ  
Φυσικός ΕΚΠΑ

ΙΔΙΑΙΤΕΡΑ ΜΑΘΗΜΑΤΑ

# Ηλεκτρική δύναμη και φορτίο

## Ηλεκτρικό φορτίο

Η ύλη έχει μία φυσική ιδιότητα που την συνδέουμε με ένα φυσικό μέγεθος που το ονομάζουμε **ηλεκτρικό φορτίο**. Λέμε ότι δύο σώματα είναι ηλεκτρικά φορτισμένα όταν μεταξύ τους αναπτύσσονται δυνάμεις και έτσι αλληλεπιδρούν. Δηλαδή για να καταλάβουμε ότι δύο σώματα έχουν ηλεκτρικό φορτίο μπορούμε να μετρήσουμε τις ηλεκτρικές δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ τους.

Υπάρχουν **δύο είδη φορτίου**: το **θετικό** και το **αρνητικό**.

Όταν δύο σώματα έχουν ίδιο είδος φορτίου (θετικό-θετικό) ή (αρνητικό-αρνητικό) τότε απωθούνται, ενώ όταν έχουν αντίθετο είδος φορτίου (θετικό-αρνητικό) τότε έλκονται.

Ορίζουμε ως θετικό το φορτίο που είναι ίδιο με αυτό που θα αποκτήσει μία γυάλινη ράβδος που θα την τρίψουμε με ένα μεταξωτό ύφασμα.

Το **ηλεκτρικό εκκρεμές** αποτελείται από ένα μπαλάκι φελιζόλ και ένα νήμα. Έχουμε δέσει το ένα άκρο του νήματος στο μπαλάκι και το άλλο σε ένα σταθερό σημείο. Αν πλησιάσουμε ένα ηλεκτρισμένο σώμα, τότε το εκκρεμές έλκεται από το σώμα. Το ηλεκτρικό εκκρεμές δεν επηρεάζεται από άλλου είδους δυνάμεις παρά μονάχα από τις ηλεκτρικές π.χ. δεν επηρεάζεται από την μαγνητική δύναμη.

Το **ηλεκτρικό φορτίο είναι κβαντισμένο**, δηλαδή το βρίσκουμε σε ακέραια πολλαπλάσια μία ελάχιστης ποσότητας που ονομάζεται κβάντο ηλεκτρικού φορτίου και είναι ίση με το φορτίο του ενός ηλεκτρονίου ( $|q_e|=1,6 \cdot 10^{-19} C$ ). Στην γλώσσα των μαθηματικών γράφουμε:

$$Q = N \cdot q_e \quad (1)$$

Όπου  $Q$  είναι το συνολικό φορτίο που έχει μία ομάδα από  $N$  ηλεκτρόνια.)

Βρίσκουμε το **ολικό φορτίο** δύο ή περισσότερων σωμάτων εάν προσθέσουμε αλγεβρικά (δηλαδή με το πρόσημό τους) τα επιμέρους φορτία.

Ισχύει η **αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου** που μας λέει ότι το συνολικό φορτίο στην φύση είναι σταθερό. Επομένως το ηλεκτρικό φορτίο μπορεί μόνο να μεταφέρεται από σώμα σε σώμα και δεν μπορεί να δημιουργηθεί εκ του μηδενός ή να καταστραφεί.

Μπορεί να μεταφερθεί κάθε είδους φορτίο από ένα σώμα σε ένα άλλο αλλά στα πλαίσια αυτών των ασκήσεων θα μεταφέρουμε μόνο αρνητικά ηλεκτρόνια.

**Μονάδα μέτρησης του ηλεκτρικού φορτίου** στο S.I. είναι το 1C (1 Coulomb) προς τιμή του Γάλου Φυσικού Σαρλ Coulomb, ο οποίος εγκατέλειψε την στρατιωτική του σταδιοδρομία και έθεσε τις πειραματικές βάσεις του μαγνητισμού και του ηλεκτρισμού.

Φορτίο ίσο με 1C είναι ένα πάρα πολύ μεγάλο φορτίο, συνήθως ασχολούμαστε με φορτία της τάξεως του  $1nC=1 \cdot 10^{-9} C$  (νανοΚουλομπ) και στις ασκήσεις με  $1\mu C=1 \cdot 10^{-6} C$  (μικροΚουλομπ).

Το ηλεκτρικό φορτίο το μετράμε με την βοήθεια της ηλεκτρικής δύναμης. Η έννοια αυτή διατυπώνεται μέσα από τον **νόμο του Coulomb**:

Το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης ( $F$ ) που με την οποία αλληλεπιδρούν δύο σημειακά φορτία ( $q_1$  και  $q_2$ ) είναι ανάλογο του γινο-

### ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

#### ΘΕΩΡΙΑ

Ηλεκτρικό φορτίο.....	2
Δομή του ατόμου.....	3
Αγωγοί και μονωτές....	3
Τρόποι ηλεκτρίσης.....	4

#### ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

Χρησιμοποίησε και εφάρμοσε τις έννοιες που έμαθες.....	5
Εφάρμοσε τις γνώσεις σου και γράψε τεκμηριωμένες απαντήσεις στις ερωτήσεις που ακολουθούν.....	8
Ασκήσεις.....	15

Ευρετήριο.....	16
----------------	----

μένου των φορτίων και αντιστρόφως ανάλογο του τετραγώνου της μεταξύ τους απόστασης ( $r$ ).

Στην γλώσσα των μαθηματικών γράφουμε:

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

Το  $K$  είναι μία σταθερά αναλογία που ονομάζεται **ηλεκτρική σταθερά** και η τιμή της εξαρτάται από το σύστημα μονάδων και από το υλικό μέσα στο οποίο είναι τοποθετημένα τα δύο φορτία. Στο S.I. για το κενό έχει τιμή  $K = 9 \cdot 10^9 \frac{N m^2}{C^2}$ .

Στον τύπο 2 την δύναμη στο S.I. την μετράμε σε N (Newton), το φορτίο σε C (Coulomb) και την απόσταση σε m (μέτρα).

### Δομή του ατόμου

Η **δομή του ατόμου** σύμφωνα με του Ernest Rutherford, Niels Bohr και άλλων έχει ως εξής:

Κάθε άτομο έχει ένα πολύ μικρό πυρήνα με θετικό φορτίο και γύρω περιστρέφονται αρνητικά ηλεκτρόνια. Μεταξύ πυρήνα και ηλεκτρονίων έχουμε δυνάμεις έλξης ενώ μεταξύ των ηλεκτρονίων απωστικές δυνάμεις.

Όλα τα ηλεκτρόνια είναι ίδια και έχουν ίδια μάζα και ίδιο αρνητικό φορτίο μεταξύ τους.

Ο πυρήνας είναι σύνθετος και αποτελείται από δύο ειδών σωματίδια: Τα θετικά πρωτόνια και τα ουδέτερα νετρόνια (ουδετερόνια). Όλα τα πρωτόνια είναι ίδια μεταξύ τους. Τα πρωτόνια και τα νετρόνια έχουν

σχεδόν ίσες μάζες (η μάζα του νετρονίου είναι ελαφρώς μεγαλύτερη).

Τα πρωτόνια και τα ηλεκτρόνια έχουν αντίθετο φορτίο.

Στα **ουδέτερα άτομα** ο συνολικός αριθμός των πρωτονίων είναι ίσος με των αριθμό των ηλεκτρονίων του.

Τα **θετικά ιόντα** (κατιόντα) είναι τα άτομα που έχουν χάσει ηλεκτρόνια και έτσι το συνολικό τους φορτίο είναι θετικό, ενώ τα **αρνητικά ιόντα** (ανιόντα) έχουν προσλάβει ηλεκτρόνια και το συνολικό τους φορτίο είναι αρνητικό. Για να φορτιστεί ένα άτομο πρέπει να γίνει μεταφορά ηλεκτρονίων. Στα πλαίσια αυτής της ύλης δεν επιτρέπεται να γίνει μεταφορά πρωτονίων.

Για να φορτίσουμε ένα άτομο (ή ένα σώμα) πρέπει να ξοδέψουμε ενέργεια η οποία μεταφέρεται και αποθηκεύεται στο φορτισμένο σώμα με την μορφή της **ηλεκτρικής ενέργειας**.

### Αγωγοί και μονωτές

**Αγωγός** είναι ένα υλικό που επιτρέπει την ελεύθερη διέλευση των ηλεκτρονίων στο εσωτερικό του. Αγωγοί είναι τα μέταλλα. Τα άτομα των αγωγών έχουν χάσει τα εξωτερικά τους ηλεκτρόνια και έχουν μετατραπεί σε θετικά ιόντα, τα οποία ταλαντώνονται γύρω από σταθερές θέσεις. Τα ηλεκτρόνια που χάνουν ισοκατανέμονται σε όλη την έκταση του αγωγού και μπορούν να κινηθούν ελεύθερα σε οποιοδήποτε σημείο. Σε αυτή την περίπτωση ο αγωγός στο σύνολό του είναι ηλεκτρικά ουδέτερος. Αν εισάγουμε άλλα επιπλέον ηλεκτρόνια στον αγωγό, τότε και αυτά θα ισοκατανεμηθούν σε όλη την έκτασή του. Ο αγωγός φορτίζεται συνολικά αρνητικά. Αν βγάλουμε κάποια από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του, τότε φορτίζεται θετικά.

**Μονωτής** είναι ένα υλικό που δεν επιτρέπει την ελεύθερη διέλευση των ηλεκτρονίων. Δεν υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια. Τα άτομά του είναι ουδέτερα. Τα άτομά του μπορούν να πολωθούν αν ασκήσουμε μικρές σχετικά δυνάμεις με την μέθοδο της επαγωγής. Αν ασκήσουμε μεγαλύτερες δυνάμεις με την μέθοδο της τριβής, τότε φεύγουν ηλεκτρόνια από τα άτομα που βρίσκονται κοντά στο σημείο επαφής ή έρχονται ηλεκτρόνια και παραμένουν δέσμια στο σημείο επαφής. Βλέπε τρόπους ηλεκτρίσης.

### Τρόποι ηλεκτρίσης

Η **ηλεκτρίση** ενός σώματος μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους: (α) με τριβή, (β) με επαφή και (γ) με επαγωγή.

Οι έννοιες της ηλεκτρίσης και της φόρτισης δεν είναι ταυτόσημες. Υπάρχει μία μικρή διαφορά.

**Ηλεκτρισμένο** είναι ένα σώμα που αποκτά την ιδιότητα της δύναμης και αυτό μπορεί να γίνει με δύο τρόπους: (α) λόγω μετακίνησης ηλεκτρονίων από ή προς αυτό και να μεταβληθεί έτσι το συνολικό του φορτίο ή (β) λόγω μη συμμετρικής κατανομής των θετικών και αρνητικών φορτίων ενώ το συνολικό φορτίο είναι μηδέν. Βλέπε στο σχολικό βιβλίο σελίδα 11.

**Φορτισμένο** είναι ένα σώμα που το συνολικό του φορτίο είναι μη μηδενικό.

Στην εικόνα 1.21 στην σελίδα 19 του σχολικού βιβλίου η σφαίρα είναι φορτισμένη γιατί έχει συνολικό φορτίο διαφορετικό του μηδενός αλλά και ηλεκτρισμένη γιατί εν δυνάμει μπορεί να ασκήσει ηλεκτρικές δυνάμεις, ενώ η ράβδος δεν είναι φορτισμένη γιατί το συνολικό της φορτίο είναι μηδέν αλλά είναι ηλεκτρισμένη γιατί τα δύο άκρα της εμφανίζουν ηλεκτρικές ιδιότητες.

Επομένως ένα φορτισμένο σώμα είναι και ηλεκτρισμένο αλλά ένα ηλεκτρισμένο δεν είναι φορτισμένο.

Για να ηλεκτρίσουμε ένα σώμα **με τριβή** αρκεί να το τρίψουμε με ένα άλλο π.χ. τρίβουμε μία πλαστική ράβδο με ένα μάλλινο ύφασμα (και τα δύο σώματα είναι μονωτές), τότε τα εξωτερικά ηλεκτρόνια των ατόμων του πλαστικού κινούνται προς μαλλί. Έτσι η ράβδος φορτίζεται θετικά (έλλειψη ηλεκτρονίων) και το μαλλί αρνητικά (πρόσληψη ηλεκτρονίων). Τα ηλεκτρόνια κινούνται σύμφωνα με τα είδη των υλικών που τρίβουμε (βλέπε τον πίνακα 1.2 του σχολικού βιβλίου στην σελίδα 17). **Τα σώματα αποκτούν αντίθετα φορτία** σύμφωνα με την αρχή διατήρησης του φορτίου. Τα φορτία παραμένουν στο σημείο όπου έγινε η τριβή.

Για να ηλεκτρίσουμε ένα σώμα **με επαφή** αρκεί να ακουμπήσουμε το αφόρτιστο σώμα με ένα φορτισμένο. Τότε **το αφόρτιστο αποκτά το ίδιο είδος φορτίου** με το φορτισμένο και σύμφωνα με την αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου: Το άθροισμα των φορτίων που αποκτούν δύο σώματα τελικά είναι ίσο με το φορτίο που είχαν τα δύο σώματα αρχικά.

Για να ηλεκτρίσουμε ένα αφόρτιστο σώμα **με επαγωγή** αρκεί να πλησιάσουμε ένα φορτισμένο σώμα κοντά στο αφόρτιστο. Τότε στο αφόρτιστο γίνεται ανακατανομή ηλεκτρονίων αλλά το συνολικό του φορτίο είναι μηδέν (ηλεκτρισμένο και όχι φορτισμένο).

**Σε περίπτωση που το αφόρτιστο σώμα είναι αγωγός** τότε τα αντίθετα φορτία ανακατανέμονται αντιδιαμετρικά στα φυσικά άκρα του αγωγού, αφού τα ελεύθερα ηλεκτρόνια μπορούν να κινηθούν ελεύθερα και στο ένα άκρο δημιουργούν πλεόνασμα ηλεκτρονίων και στο άλλο έλλειμμα.

Στην περίπτωση που το αφορτιστο σώμα είναι μονωτής τότε τα μόρια πολώνονται. Όταν ένα μόριο πολώνεται, το νέφος των ηλεκτρονίων δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο γύρω από τον πυρήνα αλλά μετατοπίζεται προς την μία πλευρά. Αυτό δημιουργεί ανισοκατανομή του ηλεκτρικού φορτίου μέσα στο μόριο που τώρα μοιάζει με ελλειψοειδές που η μία του πλευρά είναι θετική και η άλλη του αρνητική.

### Λύσεις των ασκήσεων του σχολικού βιβλίου

**Χρησιμοποίησε και εφάρμοσε τις έννοιες που έμαθες.**

**A01** Να σχηματίσεις προτάσεις χρησιμοποιώντας τις έννοιες: (α) ηλεκτρισμένο σώμα, (β) ηλεκτρική δύναμη, (γ) ηλεκτρικό εκκρεμές, (δ) ηλεκτρικό φορτίο

(α) **Ηλεκτρισμένο σώμα** είναι αυτό που έχει με κάποιο τρόπο αποκτήσει ηλεκτρικές ιδιότητες. Μία φορτισμένη σφαίρα που έχει κάποιο φορτίο είναι ένα **ηλεκτρισμένο σώμα**. Μία ράβδος που έχει ηλεκτριστεί με επαγωγή είναι ένα **ηλεκτρισμένο σώμα** και το συνολικό της φορτίο είναι μηδέν. (β) Δύο ηλεκτρισμένα σώματα ασκούν **ηλεκτρική δύναμη** το ένα στο άλλο. Αν δύο φορτισμένα σώματα έχουν αντίθετα φορτία, τότε η **ηλεκτρική δύναμη** είναι ελκτική. Η **ηλεκτρική δύναμη** είναι ανάλογη του γινομένου των δύο φορτίων και αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της μεταξύ τους απόστασης. (γ) Τα ηλεκτρισμένα σώματα πάντα έλκουν το **ηλεκτρικό εκκρεμές**. Ένας μαγνήτης δεν έλκει το **ηλεκτρικό εκκρεμές**. (δ) Αφού οι ηλεκτρικές δυνάμεις είναι δύο (ελκτικές ή απωστικές), θα πρέπει να είναι δύο και τα

**ηλεκτρικά φορτία** (θετικό και αρνητικό). Το μικρότερο **ηλεκτρικό φορτίο** ονομάζεται κβάντο και είναι ίσο με το φορτίο του ηλεκτρονίου ή του πρωτονίου. Τα νετρόνια δεν έχουν **ηλεκτρικό φορτίο**.

**A02** Να περιγράψεις δύο φαινόμενα που προκαλούνται από ηλεκτρισμένα σώματα.

(α) Όταν τρίψουμε ένα **πλαστικό στυλό** πάνω στην μάλλινη μπλουζα μας, τότε τα δύο σώματα φορτίζονται με τριβή και ηλεκτρόνια κινούνται από το μαλλί προς το πλαστικό. Έτσι το στυλό φορτίζεται αρνητικά και το μαλλί θετικά. Αφού και τα δύο υλικά είναι μονωτές, τα φορτία περιορίζονται στο σημείο της επαφής. Βλ. ασκ 14 σελ 10

(β) Αν πλησιάσουμε μία φορτισμένη χτένα κοντά σε μία **φλέβα νερού**, τότε η χτένα ηλεκτρίζει με επαγωγή την φλέβα και έτσι τα δύο σώματα έλκονται. Παρατηρούμε ότι η φλέβα νερού τείνει να κινηθεί προς την πλευρά της χτένας. βλ. σελ 13

**A03** Να συμπληρώσεις τις λέξεις που λείπουν από το παρακάτω κείμενο έτσι ώστε οι προτάσεις που προκύπτουν να είναι επιστημονικά ορθές:

(α) Μεταξύ δύο φορτισμένων σωμάτων ασκείται είτε **ελκτική** είτε **απωστική** δύναμη. Δύο φορτισμένα σώμα αλληλεπιδρούν χωρίς να βρίσκονται απαραίτητα σε **επαφή** μεταξύ τους. Η ηλεκτρική δύναμη δρα από **απόσταση**.

(β) Στη φύση εμφανίζονται δύο είδη φορτισμένων σωμάτων, τα **θετικά** και τα **αρνητικά** φορτισμένα. Δύο **όμοια** φορτισμένα σώματα απωθούνται, ενώ δύο **αντίθετα** φορτισμένα σώματα έλκονται.

**A04** Στις παρακάτω ερωτήσεις να κυκλώσεις το γράμμα που αντιστοιχεί στην σωστή απάντηση.

(Α) Τα άτομα είναι ηλεκτρικά ουδέτερα γιατί αποτελούνται από ίσους αριθμούς πρωτονίων και ηλεκτρονίων που (γ) έχουν αντίθετα ηλεκτρικά φορτία.

(Β) Η φόρτιση με τριβή επιτυγχάνεται με μεταφορά (β) μόνο ηλεκτρονίων

(Γ) Τρίβουμε ισχυρά μία ράβδο από εβονίτη με ένα μεταξωτό ή μάλλινο ύφασμα. Το φορτίο που θα αποκτήσει η ράβδος είναι (δ) μερικά δισεκατομμυριοστά του Κουλόμπ (  $nC$  )

**A05** Να περιγράψεις δύο ηλεκτρικά φαινόμενα και να τα συνδέσεις με τους τρόπους ηλεκτρισής.

(α) Καθώς τα **σύννεφα** κινούνται με την βοήθεια του αέρα η έντονη τριβή μεταξύ των κρυστάλλων πάγου μέσα στα νέφη απομακρύνει ορισμένα αρνητικά ηλεκτρόνια από τα άτομά τους τα οποία φορτίζονται θετικά. Το φορτίο εν συνεχεία διαχωρίζεται. Τα αρνητικά ηλεκτρόνια συσσωρεύονται στο κάτω μέρος του σύννεφου και το άνω μέρος γίνεται θετικό. Με επαγωγή φορτίζεται και η επι-

φάνεια της γης θετικά, αφού τα ηλεκτρόνια της απομακρύνονται από τις περιοχές κάτω από το σύννεφο. Όταν συσσωρευτεί μεγάλη ποσότητα φορτίου, τότε δημιουργείται ένας τεράστιος σπινθήρας (**κεραυνός**), δηλαδή ηλεκτρόνια κινούνται από την βάση του σύννεφου προς την γη.

(β) Όταν τρίβουμε μία γυάλινη ράβδο με ένα μεταξωτό ύφασμα, λόγω τριβής ηλεκτρόνια κινούνται από το γυαλί προς το ύφασμα με αποτέλεσμα η ράβδος να φορτίζεται θετικά και το ύφασμα αρνητικά. Αφού και τα δύο υλικά είναι μονωτές, τα φορτία περιορίζονται στο σημείο της τριβής. Όταν πλησιάσουμε την γυάλινη ράβδο σε μία μικρή σφαίρα από φελιζόλ (**ηλεκτρικό εκκρεμές**), τότε η πλευρά της σφαίρας που είναι πλησιέστερα στην ράβδο φορτίζεται αντίθετα (αρνητικά) ενώ η πλευρά που είναι μακρύτερα από την ράβδο φορτίζεται με το ίδιο φορτίο (θετικά) με αυτό της ράβδου. Αυτό συμβαίνει γιατί τα μόρια του μονωτή πολώνονται. Το ηλεκτρικό εκκρεμές ηλεκτρίστηκε.

Το αποτέλεσμα είναι να δημιουργούνται συνολικά ελκτικές δυνάμεις και η σφαίρα από φελιζόλ να έχει την τάση να πλησιάσει την ράβδο. Συγκεκριμένα οι δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ της ράβδου και της πλησιέστερης πλευράς του σφαιριδίου είναι ελκτικές, ενώ μεταξύ της ράβδου και της πιο απομακρυσμένης πλευράς του σφαιριδίου είναι απωστικές. Υπερνικούν οι ελκτικές λόγω μικρότερης απόστασης.

Αν ακουμπήσουμε την ράβδο πάνω στην σφαίρα του εκκρεμούς, τότε στο σημείο επαφής η σφαίρα

φορτίζεται θετικά, λόγω επαφής, και τα δύο σώματα τώρα απωθούνται.

(γ) Όταν τρίβουμε ένα **πλαστικό μπαλόνι** στην μάλλινη μπλουζα μας, τότε το μπαλόνι φορτίζεται αρνητικά μόνο στην μία πλευρά του, στο σημείο όπου το τρίψαμε αφού είναι μονωτής.

Αν τώρα ακουμπήσουμε σε ένα τοίχο την πλευρά του μπαλονιού που δεν το έχουμε τρίψει (είναι αφόρτιστη), τότε ο τοίχος δεν θα ηλεκτριστεί με επαγωγή από το φορτίο που είναι στην άλλη πλευρά του μπαλονιού και είναι μακριά από τον τοίχο. Μάλιστα για να συμβεί κάτι τέτοιο μάλλον θα έπρεπε να είχαμε συσσωρεύσει μία πολύ μεγάλη ποσότητα φορτίου.

Αν όμως ακουμπήσουμε τον τοίχο με την πλευρά του μπαλονιού που είναι φορτισμένη, τότε ο τοίχος φορτίζεται αρνητικά με επαφή η οποία γίνεται μόνο σε ένα συγκεκριμένο σημείο (στο σημείο της επαφής) λόγω της κυρτότητας του μπαλονιού.

Επίσης λόγω της κυρτότητας του μπαλονιού διάφορα τμήματά του είναι πολύ κοντά στον τοίχο χωρίς όμως να έρχονται σε επαφή, με αποτέλεσμα τα ηλεκτρόνια που περάσανε στον τοίχο λόγω της επαφής να απομακρυνθούν προς τα μέσα, αλλά και τα μόρια της πλαστικής μπλογιάς του τοίχου να πολωθούν.

Αυτό έχει σαν συνέπεια να δημιουργηθούν συνολικά ελκτικές δυνάμεις που δημιουργούν σημαντική τριβή ώστε να συγκρατούν το μπαλόνι κολλημένο στον τοίχο.

**A06** Ποια όργανα ονομάζονται ηλεκτροσκόπια; Να περιγράψεις τα κύρια μέρη από τα οποία αποτελείται ένα ηλεκτροσκόπιο με κινητά φύλλα.

Τα **ηλεκτροσκόπια** είναι δύο ειδών (α) το εκκρεμές και (β) το ηλεκτροσκόπιο με κινητά φύλλα. Χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση του ηλεκτρικού φορτίου.

Το ηλεκτροσκόπιο με κινητά φύλλα αποτελείται από έναν μεταλλικό δίσκο, ένα μεταλλικό στέλεχος και από ένα ή δύο μεταλλικά κινητά φύλλα. Το στέλεχος και τα φύλλα βρίσκονται μέσα σε μονωμένο περίβλημα.

Όταν ακουμπήσουμε ένα φορτισμένο σώμα στο δίσκο του ηλεκτροσκοπίου, τότε το σύστημα του δίσκου, του στελέχους και των φύλλων φορτίζεται με το ίδιο φορτίο με το σώμα και τα φύλλα αποκλίνουν.

Όταν πλησιάσουμε ένα φορτισμένο σώμα στο δίσκο, τότε έχουμε ηλεκτρίση με επαγωγή και ο δίσκος φορτίζεται αντίθετα ως προς το σώμα και τα φύλλα με το ίδιο φορτίο με αυτό του σώματος. Πάλι τα φύλλα αποκλίνουν.

**A07** Να συμπληρώσεις τις λέξεις που λείπουν από το παρακάτω κείμενο έτσι ώστε οι προτάσεις που προκύπτουν να είναι επιστημονικά ορθές:

(α) Όταν τρίβουμε δύο ηλεκτρικά ουδέτερα σώματα μετακινούνται ηλεκτρόνια από το ένα στο άλλο και τα σώματα φορτίζονται αντίθετα. Όταν αγγίξουμε με ένα φορτισμένο σώμα ένα ηλεκτρικά ουδέτερο σώμα, τότε αυτό φορτίζεται ίδιο είδος φορτίου.

(β) Όταν ένα υλικό φορτίζεται με επαφή σε όλη του την έκταση το ονομάζουμε αγωγό, ενώ όταν φορτίζεται μόνο τοπικά το ονομάζουμε μονωτή. Το πλαστικό και το γυαλί είναι μονωτές, ενώ τα μέταλλα είναι αγωγοί. Οι αγωγοί επιτρέπουν την κίνηση των φορτισμένων σωματιδίων στο εσωτερικό τους, ενώ οι μονωτές όχι.

**A08** Στις παρακάτω ερωτήσεις να κυκλώσεις το γράμμα που αντιστοιχεί στην σωστή απάντηση:

(Α) Τρίβουμε μία γυάλινη ράβδο με μεταξωτό ύφασμα. Η ράβδος φορτίζεται θετικά διότι: (γ) μεταφέρθηκαν ηλεκτρόνια από την ράβδο στο ύφασμα.

(Β) Δύο μονωμένες μεταλλικές σφαίρες έχουν φορτία  $2\mu C$  και  $3\mu C$  αντίστοιχα. Τις φέρνουμε σε επαφή και τις απομακρύνουμε, προσέχοντας να παραμένουν ηλεκτρικά απομονωμένες από το περιβάλλον τους. Με βάση την **αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου** μετά την επαφή τους οι σφαίρες έχουν φορτίο αντίστοιχα: (β)  $1\mu C$  και  $4\mu C$ .

Με βάση την αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου και αφού οι σφαίρες είναι ηλεκτρικά απομονωμένες όσο συνολικό φορτίο έχουν στην αρχή πρέπει να έχουν και στο τέλος.

**A09** Τι εννοούμε με την φράση «Το ηλεκτρικό φορτίο διατηρείται σταθερό»; Να χρησιμοποιήσεις σχετικά παραδείγματα.

Η **αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου** ισχύει πάντα, και μας λέει ότι όσο ηλεκτρικό φορτίο έχει ένα σύνολο από σώματα κάποια χρονική

στιγμή το ίδιο συνολικό φορτίο θα έχει και μία οποιαδήποτε άλλη χρονική στιγμή.

Τα σώματα αυτά θα πρέπει να είναι απομονωμένα από το περιβάλλον. Αν δεν είναι, μπορεί να διαρρεύσει ηλεκτρικό φορτίο στο περιβάλλον, αλλά και σε αυτή την περίπτωση το φορτίο διατηρείται.

Το ηλεκτρικό φορτίο δεν δημιουργείται εκ του μηδενός αλλά και ούτε καταστρέφεται, αλλά μεταφέρεται από σώμα σε σώμα.

(α) Τρίβουμε μία πλαστική αφόρτιστη ράβδο με ένα αφόρτιστο μάλλινο ύφασμα. Το συνολικό αρχικό φορτίο και των σωμάτων είναι μηδέν. Μετά την τριβή τα δύο σώματα έχουν φορτιστεί αντίθετα, π.χ. το φορτίο της ράβδου μπορεί να είναι:  $q_{\text{ραβδου}} = -6nC$ , και το φορτίο του υφάσματος θα είναι:  $q_{\text{υφάσματος}} = +6nC$ . Επομένως το συνολικό φορτίο και των δύο σωμάτων μετά την φόρτιση θα είναι πάλι μηδέν.

(β) Βλέπε το παράδειγμα της άσκησης 8 Β σελ 6.

(γ) Έστω μία φορτισμένη γυάλινη ράβδο με φορτίο  $q_{\text{γυαλιού}} = +7\mu C$  και μία φορτισμένη ράβδο από πλαστικό με φορτίο  $q_{\text{πλαστικό}} = -7\mu C$ . Επομένως το συνολικό αρχικό φορτίο είναι μηδέν. Τις φέρνουμε σε επαφή με αποτέλεσμα οι ράβδοι να εκφορτίζονται, δηλαδή το φορτίο κάθε ράβδου να είναι μηδέν όπως και το τελικό συνολικό φορτίο να είναι και αυτό μηδέν.

**A10** Τι εννοούμε με την φράση «Το ηλεκτρικό φορτίο εμφανίζεται σε **κβάντα**»; Να χρησιμοποιήσεις σχετικά παραδείγματα.

Το μικρότερο ηλεκτρικό φορτίο που υπάρχει ελεύθερο στην φύση είναι το φορτίο του ηλεκτρονίου ή του πρωτονίου.  $q_e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  και  $q_p = +1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ . Αυτό σημαίνει ότι δεν μπορούμε να κόψουμε ένα ηλεκτρόνιο ή ένα πρωτόνιο σε μικρότερα κομμάτια και να κατασκευάσουμε μικρότερα φορτία από αυτό. Το μικρότερο αυτό φορτίο ονομάζεται κβάντο.

Μπορούμε να το παρομοιάσουμε με τα χρήματα όπου το μικρότερο χρηματικό ποσό που μπορούμε να έχουμε στην τσέπη μας είναι το 1 λεπτό.

Με τον ίδιο τρόπο που για να κατασκευάσουμε 1€ πρέπει να συγκεντρώσουμε 100 λεπτά, έτσι και στην περίπτωση του φορτίου για να κατασκευάσουμε μία ποσότητα αρνητικού φορτίου μπορούμε να συγκεντρώσουμε μία ακέραια ποσότητα από ηλεκτρόνια μαζί με το φορτίο τους. Ή για να κατασκευάσουμε ένα θετικό φορτίο αρκεί να συγκεντρώσουμε αρκετά πρωτόνια.

Στην γλώσσα των μαθηματικών γράφουμε:  $Q = N \cdot q_e$  ή  $Q = N \cdot q_p$ . Όπου  $N$  είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων που συγκεντρώνουμε και  $Q$  είναι το συνολικό φορτίο, θετικό ή αρνητικό.

Όταν έχουμε ένα συνολικό φορτίο  $Q$  πρέπει αυτό να είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του  $q_e$  ή  $q_p$ . Δηλαδή όταν το διαιρούμε με το  $q_e$  ή με το  $q_p$  το αποτέλεσμα να είναι ακέραιος αριθμός  $N = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ . π.χ δεν μπορεί να υπάρξει φορτίο ίσο με  $Q = -33 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  γιατί αν κάνουμε την διαίρεση:  $\frac{-33 \cdot 10^{-19}}{-1,6 \cdot 10^{-19}} = 20,625$ , ενώ μπορεί

να υπάρξει φορτίο ίσο με  $32 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  διότι το αποτέλεσμα της διαίρεσης  $\frac{32 \cdot 10^{-19}}{-1,6 \cdot 10^{-19}} = -20$  είναι ακέραιος αριθμός.

**A11** Να συμπληρώσεις τις λέξεις που λείπουν από το παρακάτω κείμενο ώστε οι προτάσεις που προκύπτουν να είναι επιστημονικά ορθές.

(α) Σύμφωνα με τον νόμο του Κουλόμπ το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης που προκύπτει από την αλληλεπίδραση δύο σημειακών φορτίων είναι ανάλογο του γινομένου των δύο φορτίων και αντιστροφώς ανάλογο του τετραγώνου της μεταξύ τους απόστασης. Τα διανύσματα που παριστάνουν τις δυνάμεις βρίσκονται στην ευθεία που τα συνδέει.

(β) Όταν σε ένα χώρο ασκούνται δυνάμεις, τότε λέμε ότι στον χώρο υπάρχει ένα πεδίο δυνάμεων. Γύρω από ένα σώμα που έχει ηλεκτρικό φορτίο υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο.

(γ) Όταν σε ένα πεδίο οι δυναμικές γραμμές είναι ευθείες παράλληλες και ισαπέχουσες, το πεδίο έχει σταθερή ένταση και λέμε ότι είναι ομογενές. Στο εσωτερικό των αγωγών δεν υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο. Λέμε ότι οι αγωγοί θωρακίζουν τον εσωτερικό τους χώρο από τα ηλεκτρικά πεδία που υπάρχουν στον εξωτερικό.

**A12** Δύο θετικά φορτισμένες σφαίρες τοποθετούνται σε ορισμένη απόσταση μεταξύ τους. Να χαρακτηρίσεις με  $\Sigma$  τις προτάσεις των οποίων το περιεχόμενο είναι επιστημονικά ορθό και με  $\Lambda$  αυτές που το περιεχόμενό τους είναι επιστημονικά λανθασμένο.

(α) Οι ηλεκτρικές δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ των σφαιρών είναι απωστικές ( $\Sigma$ )

(β) Το μέτρο της δύναμης που ασκεί η πρώτη σφαίρα στην δεύτερη είναι ίσο με το μέτρο της δύναμης που ασκεί η δεύτερη στην πρώτη ( $\Sigma$ )

(γ) Όταν αυξήσουμε την απόσταση μεταξύ των σφαιρών, οι δυνάμεις αυξάνονται ( $\Lambda$ )

(δ) Όταν μειώσουμε την απόσταση των σφαιρών στο μισό, οι δυνάμεις τετραπλασιάζονται ( $\Sigma$ )

(ε) Όταν διπλασιάσουμε τις αποστάσεις των σφαιρών, οι δυνάμεις παραμένουν σταθερές ( $\Lambda$ )

(στ) Όταν διπλασιάσουμε το φορτίο της μίας σφαίρας, οι δυνάμεις διπλασιάζονται ( $\Sigma$ )

(ζ) Όταν διπλασιάσουμε το φορτίο και των δύο σφαιρών, οι δυνάμεις τετραπλασιάζονται ( $\Sigma$ )

**Ένας πρακτικός τρόπος για να υπολογίσετε πώς μεταβάλλεται η δύναμη όταν μεταβάλλουμε τα φορτία ή την απόσταση έχει ως εξής:**

Στον λόγο  $\frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$ , όταν μας λέει ότι διπλασιάζεται ένα φυσικό μέγεθος από τα  $q_1, q_2, r$  αντικαθιστούμε αυτό το σύμβολο με τον αριθμό 2, όταν μας λέει ότι τριπλασιάζεται με τον αριθμό 3, όταν λέει ότι υποδιπλασιάζεται αντικαθιστούμε τον αριθμό  $1/2$ , όταν υποτριπλασιάζεται τον αριθμό  $1/3$ , ενώ όταν παραμένει σταθερό με τον αριθμό 1 κτλ. Κάνουμε τις πράξεις και ανάλογα με τον αριθμό που βρίσκουμε διαλέγουμε την σωστή απάντηση, π.χ. στην ερώτηση (ζ) θα αντικαταστήσουμε το  $q_1$  με τον αριθμό 2, το  $q_2$  με τον αριθ-

μό 2 και το  $r$  με τον αριθμό 1 αφού αυτό μένει σταθερό. Κάνουμε τις πράξεις και βρίσκουμε τον αριθμό 4, επομένως η δύναμη τετραπλασιάζεται.

**A13** Πλησιάστε μία φορτισμένη ράβδο σε μικρά σφαιρίδια από φελιζόλ που είναι αφορτιστα. Τα σφαιρίδια έλκονται από την ράβδο. Προσπάθησε να ερμηνεύσεις το φαινόμενο συνδυάζοντας (α) τις ιδιότητες του ηλεκτρικού φορτίου, (β) τον μηχανισμό ηλεκτρίσης με επαγωγή και (γ) το νόμο του Κουλόμπ.

Είναι ίδιο με το φαινόμενο της ηλεκτρίσης **κομματιών χαρτιού** από φορτισμένη χτένα.

Ας υποθέσουμε ότι η φορτισμένη ράβδος είναι αρνητικά φορτισμένη και την πλησιάζουμε κοντά σε ένα από τα πολύ μικρά μπαλάκια από φελιζόλ. Το φελιζόλ είναι μονωτής και έτσι τα μόριά του δεν μπορούν εύκολα να χάσουν ηλεκτρόνια αλλά ούτε και τυχόν ελεύθερα ηλεκτρόνια δεν μπορούν να ισοκαταμεμηθούν ελεύθερα σε όλο τον όγκο του μονωτή.

Το ηλεκτρικό πεδίο της φορτισμένης ράβδου θα αλληλεπιδράσει με τα αρχικά ουδέτερα μόρια του φελιζόλ και θα ασκήσει δυνάμεις στο νέφος των ηλεκτρονίων με αποτέλεσμα τα μόρια να πολωθούν. Αυτό θα γίνει με όλα τα μόρια του φελιζόλ. Η θετική πλευρά κάθε πολωμένου μορίου θα είναι προς την πλευρά της αρνητικής ράβδου.

Συνολικά στην πλευρά του φελιζόλ που είναι προς την πλευρά της ράβδου θα εμφανιστεί θετικό φορτίο και στην εκ διαμέτρου αντίθετη αρνητικό.

Τώρα θα ασκηθούν (α) ελκτικές ηλεκτρικές δυνάμεις ανάμεσα στην ράβδο και την πλησιέστερη

θετική πλευρά του φελιζόλ και (β) απωστικές ηλεκτρικές δυνάμεις ανάμεσα στην ράβδο και την πιο μακρινή αρνητική πλευρά. Ισχυρότερες είναι οι θετικές δυνάμεις αφού η απόσταση είναι πιο μικρή, επομένως το σφαιρίδιο έλκεται από την ράβδο και κινείται προς αυτήν.

Όταν όμως η ράβδος ακουμπήσει το σφαιρίδιο, έχουμε φόρτιση με επαφή δύο μονωτών.

**A14** Με ποιους τρόπους μπορούμε να περιγράψουμε το φαινόμενο της **αλληλεπίδρασης** δύο φορτισμένων σωμάτων.

Έστω δύο φορτισμένα σώματα A και B και δύο πεδία  $\Pi_A$  και  $\Pi_B$ .

(α) Το σώμα A ασκεί από απόσταση κατευθείαν δύναμη στο σώμα B και αντίστροφα το B στο A.

(β) Επικρατέστερη είναι η άποψη όπου το σώμα A δημιουργεί ένα πεδίο  $\Pi_A$ , το πεδίο  $\Pi_A$  "αγκαλιάζει" το σώμα B και του ασκεί δύναμη. Ακόμα το σώμα B δημιουργεί το δικό του πεδίο  $\Pi_B$  που με την σειρά του ασκεί δύναμη στο σώμα A. Δηλαδή σε αυτή την περίπτωση το κάθε πεδίο διαμεσολαβεί για να ασκήσει δύναμη.

**A15** Ποιες πληροφορίες μπορείς να πάρεις για ένα ηλεκτρικό πεδίο αν γνωρίζεις την μορφή των **δυναμικών του γραμμών**; Με ποιόν τρόπο μπορείς να αντλήσεις αυτές τις πληροφορίες;

Από την μορφή των δυναμικών γραμμών μπορούμε να πληροφορηθούμε για την δύναμη που θα ασκήσει το πεδίο σε ένα φορτίο  $q_A$  αν το  $q_A$  το τοποθετήσουμε σε κάποιο σημείο του πεδίου A.

Για να βγάλουμε τα συμπεράσματά μας πρέπει να προσέξουμε δύο πράγματα: (α) την διεύθυνση των δυναμικών γραμμών στο σημείο A και (β) το πόσο πυκνές είναι οι δυναμικές γραμμές σε αυτό το σημείο A.

Από την επαπτομένη ευθεία πάνω στην δυναμική γραμμή στο σημείο A και την φορά της δυναμικής γραμμής συμπεραίνουμε την κατεύθυνση της δύναμης και από την πυκνότητα των δυναμικών γραμμών συμπεραίνουμε το μέτρο της δύναμης. Όσο πιο πυκνές είναι οι γραμμές τόσο πιο μεγάλη θα είναι η δύναμη που θα ασκήσει το πεδίο στο φορτίο.

(α) Για μία θετικά φορτισμένη αγωγίμη σφαίρα το πεδίο αποτελείται από ακτινικές γραμμές με κέντρο που συμπίπτει με το κέντρο της σφαίρας. Αυτές οι γραμμές εκτείνονται μέχρι το άπειρο. Μέσα στην σφαίρα δεν υπάρχουν γραμμές γιατί το εσωτερικό των αγωγών είναι θωρακισμένο από ηλεκτρικά πεδία. Οι γραμμές αυτές έχουν κατεύθυνση από την σφαίρα προς τα έξω.

Αν τώρα τοποθετήσουμε ένα άλλο θετικό φορτίο q σε κάποιο σημείο A αυτού του πεδίου, τότε σε αυτό το θετικό φορτίο θα ασκηθεί δύναμη προς τα έξω παράλληλα προς την γραμμή του πεδίου που περνάει από το σημείο A. Τέλος από την πυκνότητα των δυναμικών γραμμών σε αυτό το σημείο A συμπεραίνουμε για το μέτρο της δύναμης.

Κοντά στον σφαιρικό αγωγό οι γραμμές είναι πιο πυκνές, επομένως η δύναμη σε αυτά τα σημεία είναι πιο μεγάλη. Έχει μεγαλύτερο μέτρο.

(β) Παρόμοια συμπεράσματα βγάζουμε και για ένα αρνητικά φορτισμένο αγωγό. με την μόνη διαφορά ότι οι δυναμικές γραμμές άρα και η δύναμη που ασκείται σε ένα θετικό φορτίο από το πεδίο θα είναι προς τον φορτισμένο αγωγό.

(γ) Σε ένα **ομογενές πεδίο**, ανάμεσα από τις πλάκες ενός παράλληλου πυκνωτή, το πεδίο έχει παράλληλες δυναμικές γραμμές με κατεύθυνση από τον θετικό πόλο προς τον αρνητικό. Οι γραμμές είναι ισαπέχουσες, δηλαδή έχουν ίδια πυκνότητα σε όλα τα σημεία.

Επομένως η δύναμη που θα ασκήσει το πεδίο σε ένα θετικό φορτίο που θα τοποθετήσουμε μέσα στο πεδίο θα έχει κατεύθυνση από την θετική πλάκα προς την αρνητική και παράλληλη προς τις δυναμικές γραμμές και θα έχει παντού ίδιο μέτρο αφού η πυκνότητα του πεδίου είναι σταθερή.

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

**A01** Πως μπορείς να κατασκευάσεις ένα **ηλεκτρικό εκκρεμές**; Σε τι θα σου χρησιμεύσει;

Χρειαζόμαστε ένα σφαιρίδιο από φελιζόλ, και ένα νήμα. Δένουμε την μία άκρη του νήματος σε ένα σταθερό σημείο και την άλλη στο σφαιρίδιο από φελιζόλ. Τώρα το σφαιρίδιο κρέμεται από το νήμα χωρίς να ακουμπάει πουθενά αλλού.

Θα χρησιμοποιήσουμε αυτή την διάταξη (όργανο) για να ανιχνεύσουμε αν υπάρχει ηλεκτρικό φορτίο πάνω σε ένα άλλο σώμα.

Αν πλησιάσουμε αρκετά κοντά ένα άλλο φορτισμένο σώμα στο σφαιρίδιο του ηλεκτρικού εκκρεμούς, τότε το σφαιρίδιο ηλεκτρίζεται και ασκούνται ελκτικές ηλεκτρικές δυνάμεις μεταξύ του σφαιριδίου και του φορτισμένου σώματος. Το ηλεκτρικό εκκρεμές είναι ένα είδος ηλεκτροσκοπίου.

**A02** Πως μπορείς να διαπιστώσεις αν η **ηλεκτρική δύναμη** είναι ίδια ή διαφορετική από την μαγνητική; Ποιο είναι το αποτέλεσμα της έρευνας;

Στην φύση υπάρχουν μόνο πέντε είδη γνωστών δυνάμεων. Η βαρυτική, η ηλεκτρική, η μαγνητική, η ισχυρή και η ασθενής πυρηνική.

Κάθε δύναμη ασκεί δύναμη μόνο σε συγκεκριμένα είδη υλικών (υποθέματα) π.χ. η ηλεκτρική δύναμη δρα μόνο μεταξύ φορτίων, η μαγνητική μόνο μεταξύ σιδηρομαγνητικών υλικών, η βαρυτική μόνο μεταξύ μαζών.

Δηλαδή εάν φέρουμε ένα φορτισμένο σώμα κοντά σε ένα ηλεκτρικό εκκρεμές τότε το σφαιρίδιο του εκκρεμούς θα ηλεκτριστεί και έτσι τώρα θα έχουμε δύο φορτισμένα/ηλεκτρισμένα σώματα. Μεταξύ αυτών των φορτίων θα ασκηθεί μία δύναμη την οποία ονομάζουμε ηλεκτρική.

Αν τώρα κοντά στο **ηλεκτρικό εκκρεμές** φέρουμε έναν μαγνήτη δεν θα παρατηρήσουμε καμία δύναμη. Αν όμως τον μαγνήτη το πλησιάσουμε κοντά σε ένα σιδηρομαγνητικό υλικό (σίδηρος, νικέλιο, κοβάλτιο) τότε θα ασκηθεί μεταξύ του μαγνήτη και του σιδηρομαγνητικού υλικού μία δύναμη. Τις δυνάμεις αυτές τις ονομάζουμε μαγνητικές. Από το παραπάνω παράδειγμα καταλήγουμε στο συ-



μπέρασμα ότι κάθε μία από τις δυνάμεις δρα μόνο μεταξύ των δικών της υλικών (υποθεμάτων).

Με ανάλογο τρόπο διαπιστώνουμε ότι η βαρυτική δύναμη δρα μόνο μεταξύ δύο μαζών.

Το κοινό χαρακτηριστικό όλων αυτών των δυνάμεων είναι ότι δρουν από απόσταση και κάθε μία έχει και από ένα πεδίο. Η ηλεκτρική δύναμη έχει το ηλεκτρικό πεδίο, η μαγνητική το μαγνητικό και η βαρυτική το βαρυτικό πεδίο.

Σχετικά με την ισχυρή και την ασθενής πυρηνική θα πούμε μόνο ότι είναι δυνάμεις που δρουν μεταξύ των συστατικών ενός πυρήνα και είναι υπεύθυνες για την συγκράτηση των πρωτονίων και των ουδετερονίων (νετρονίων) στο εσωτερικό του πυρήνα.

**A03** Πόσα είδη ηλεκτρικών φορτίων υπάρχουν στην φύση; Με ποια επιχειρήματα θα μπορούσες να πείσεις κάποιον για την ορθότητα της απάντησής σου;

Το κύριο επιχείρημα σχετικά με την ύπαρξη ακριβώς δύο φορτίων είναι ότι έχουμε στο εργαστήριο και στην φύση παρατηρήσει μόνο δύο είδη **ηλεκτρικών δυνάμεων**, τις ελκτικές δυνάμεις και τις απωστικές δυνάμεις.

Το ότι υπάρχουν δύο είδη ηλεκτρικών δυνάμεων μπορεί να συμβεί μόνο με ένα τρόπο: να υπάρχουν μόνο δύο είδη φορτίου (και όχι ένα ή τρία). Τα φορτία αυτά τα ονομάσαμε κατά σύμβαση: θετικό και αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο. Έτσι λοιπόν όπως είδη γνωρίζεται μεταξύ ίδιων φορτίων θα ασκούνται απωστικές δυνάμεις και μεταξύ διαφορετικών ελκτικές.

Τα πράγματα δεν είναι έτσι όμως με την βαρύτητα. Σχετικά με τις βαρυτικές δυνάμεις έχουμε παρατηρήσει μόνο ελκτικές βαρυτικές δυνάμεις και όχι απωστικές. Δηλαδή όταν πλησιάζουμε δύο μάζες μόνο έλκονται, επομένως υπάρχει μόνο ένα είδος μάζας που δεν της έχουμε δώσει κάποιο ιδιαίτερο όνομα. Την αποκαλούμε απλά "μάζα". Αν φυσικά κάποια μέρα ανακαλύπταμε και απωστικές βαρυτικές δυνάμεις τότε θα βρίσκαμε και δύο είδη μαζών που μάλλον θα τις ονομάζαμε θετική βαρυτική μάζα και αρνητική.

**A04** Σε μία εφημερίδα διαβάζεις ότι ένας επιστήμονας ανακάλυψε κάποιο υλικό το οποίο μετά από τριβή έλκει και τις δύο διαφορετικές ράβδους από εβονίτη και γυαλί. Πως θα σχολιάζες αυτή την ανακοίνωση.

Με τις γνώσεις που έχει σήμερα η ανθρωπότητα αυτό δεν μπορεί να συμβεί για τον εξής λόγο:

Τα γνωστά **ηλεκτρικά φορτία** στην φύση είναι δύο ειδών. Τα όμοια απωθούνται και τα αντίθετα έλκονται (**αλληλεπίδραση φορτίων**)

Οι ράβδοι από εβονίτη και γυαλί είναι αντίθετα φορτισμένες. Συνήθως η ράβδος από εβονίτη είναι αρνητική και η ράβδος από γυαλί είναι θετική. Επομένως αυτό το τρίτο υλικό που ανακάλυψε αυτός ο επιστήμονας αν είναι αρνητικό θα πρέπει να έλκεται μόνο από την ράβδο από γυαλί ενώ αν είναι θετικό θα έλκεται μόνο από την ράβδο από εβονίτη.

Επομένως, υποθέτοντας ότι αυτό το πείραμα έχει γίνει με τον σωστό τρόπο (δεν υπάρχει λάθος ή απάτη) και ότι μπορεί κάποιος να το επαναλάβει

σε οποιοδήποτε σημείο του κόσμου, τότε θα μιλάγαμε για ένα πείραμα το οποίο θα άλλαζε ριζικά τον τρόπο με τον οποίο κατανοούμε σήμερα την φύση.

**A05** Που βασίζεται η **μέτρηση ενός ηλεκτρικού φορτίου** που έχει ένα ηλεκτρισμένο σώμα.

Αφού ο νόμος του Κουλόμπ μας λέει ότι η δύναμη μεταξύ δύο φορτίων είναι ανάλογη των φορτίων (του γινομένου των φορτίων). Η μέτρηση ενός ηλεκτρικού φορτίου βασίζεται στην δύναμη (**αλληλεπίδραση δύο φορτίων**) που ασκείται σε ένα "πρότυπο" ηλεκτρικό φορτίο.

Η μέθοδος έχει περίπου ως εξής: Διαλέγουμε αρχικά τυχαία, ένα οποιοδήποτε φορτίο και το ονομάζουμε "πρότυπο". Το πρότυπο αυτό φορτίο πρέπει να είμαστε σε θέση να μπορούμε να το διατηρούμε σταθερό και να το έχουμε στην διάθεσή μας όποτε το χρειαζόμαστε.

Επομένως πλησιάζοντας τώρα στην ίδια απόσταση (μέσα στο ίδιο υλικό) διάφορα άλλα φορτία κοντά στο πρότυπο φορτίο θα μετράμε και τις διάφορες δυνάμεις που θα ασκεί κάθε ένα φορτίο στο πρότυπο φορτίο. Από την σύγκριση αυτών των δυνάμεων μπορούμε να καταλάβουμε και το μέγεθος των φορτίων και μάλιστα να ορίσουμε και μία αριθμητική κλίμακα (Μονάδα μέτρησης του ηλεκτρικού φορτίου στο S.I. είναι το Κουλόμπ).

π.χ αν ένα φορτίο  $q_A$  ασκεί στο πρότυπο φορτίο  $q$  δύναμη  $F$  και εάν ένα άλλο φορτίο  $q_B$  ασκεί δύναμη στο πρότυπο ίση με  $2F$  τότε μπορούμε να βγάλουμε το συμπέρασμα ότι  $q_B=2 \cdot q_A$ . Τώρα αν

το φορτίο  $q_A$  το θέσουμε αυθαίρετα ίσο με 1Coulomb τότε το  $q_B$  θα είναι 2C.

**A06** Πώς ονομάζονται τα διαφορετικά είδη ηλεκτρικών φορτίων; Η ονομασία εκφράζει κάποιο χαρακτηριστικό του ηλεκτρικού φορτίου;

Τα **δύο είδη φορτίων** θα μπορούσαν να έχουν ονομαστεί με όποιες λέξεις θα μπορούσατε να φανταστείτε.

Όμως, τα δύο είδη φορτίων ονομάστηκαν "θετικό" και "αρνητικό" γιατί είναι πολύ βολικό αυτά τα ονόματα να έχουν κάποια σχέση με τον υπολογισμό του **συνολικού** φορτίου μίας ομάδας φορτίων. Όπως επίσης και η λέξη "ουδέτερο" φορτίο έχει σχέση με το μηδενικό φορτίο.

Έτσι λοιπόν δύο φορτία  $q_A=+10C$  (θετικό) και  $q_B=-10C$  (αρνητικό) μας δίνουν συνολικό φορτίο ίσο με  $Q=0$  (ουδέτερο).

Έτσι με αυτόν τον τρόπο εισάγουμε την χρήση των μαθηματικών μέσα στην φυσική. Αυτό δεν το κάνουμε μόνο με τα ηλεκτρικά φορτία. Σε κάθε επιμέρους τμήμα της φυσικής επιστήμης χρησιμοποιούμε τα μαθηματικά σαν ένα εργαλείο για να απλοποιήσουμε τις έννοιες και να τις χειριζόμαστε με μεγαλύτερη ευκολία.

**A07** Ποια είναι η σχέση ανάμεσα στο φορτίο των πρωτονίων και των ηλεκτρονίων; Γιατί τα άτομα είναι ηλεκτρικά ουδέτερα;

Το φορτίο των πρωτονίων είναι θετικό και ίσο με  $q_p=+1,6 \cdot 10^{-19}C$ . Ενώ το φορτίο των ηλεκτρονίων είναι αρνητικό ίσο με  $q_e=-1,6 \cdot 10^{-19}C$ . Αυτά

είναι τα μικρότερα φορτία που εμφανίζονται στην φύση. Όλα τα υπόλοιπα είναι ακέραια πολλαπλάσια αυτών.

Τα άτομα έχουν γύρω από τον πυρήνα τόσα ηλεκτρόνια όσα είναι και είναι τα πρωτόνια μέσα στον πυρήνα. Αφού λοιπόν τα δύο αυτά φορτία είναι αντίθετα, το άτομο εμφανίζεται ηλεκτρικά ουδέτερο γιατί το φορτίο των πρωτονίων εξουδετερώνεται από το φορτίο των ηλεκτρονίων.

**A08** Διαθέτεις μία γυάλινη ράβδο που την έχεις φορτίσει με μεταξωτό ύφασμα. Πώς θα βρεις εάν ένα άγνωστο φορτισμένο σώμα είναι θετικά ή αρνητικά φορτισμένο;

Όταν τρίψουμε την γυάλινη ράβδο με ένα μεταξωτό ύφασμα τότε αυτή φορτίζεται θετική αφού ηλεκτρόνια κινούνται από την ράβδο προς το ύφασμα.

Έχοντας υπόψιν μας ότι τα όμοια φορτισμένα σώματα απωθούνται και τα αντίθετα έλκονται, κάνουμε τα παρακάτω.

Αν πλησιάσουμε το άγνωστο φορτισμένο σώμα με την θετική ράβδο και παρατηρήσουμε ότι αυτό απωθείται από αυτήν, θα βγάλουμε το συμπέρασμα ότι είναι θετικό, ενώ αν έλκεται από την θετική ράβδο θα σημαίνει ότι είναι αρνητικό.

**A09** Ποια είναι η μονάδα φορτίου στο S.I.; Πως συνδέεται με το φορτίο του ενός ηλεκτρονίου;

Η μονάδα του ηλεκτρικού φορτίου στο διεθνές σύστημα μονάδων είναι το 1C (Coulomb). Το φορτίο αυτό είναι πολύ μεγάλο. Για να καταλάβετε το μέγεθός του, αρκεί να υπολογίσουμε πόσα

ηλεκτρόνια χρειάζονται για να συμπληρώσουμε φορτίο ίσο με 1C

Το ένα ηλεκτρόνιο έχει φορτίο  $|q_e|=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ . Επομένως για να συμπληρώσουμε φορτίο ίσο με 1C χρειαζόμαστε  $\frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19}}=6,25 \cdot 10^{18}$  ηλεκτρόνια. Ο αριθμός αυτός είναι εξαιρετικά μεγάλος.

Επομένως το φορτίο του ενός ηλεκτρονίου είναι πάρα πολύ μικρό σε σχέση με το 1C.

**A10** Πώς σχετίζεται το ηλεκτρικό φορτίο ενός σώματος με τον αριθμό των ηλεκτρονίων που μετακινήθηκαν από ή προς αυτό;

Όπως γνωρίζετε το ηλεκτρικό φορτίο είναι **κβαντισμένο**, δηλαδή το βρίσκουμε ως ακέραιο πολλαπλάσιο του ενός ηλεκτρονίου ή του πρωτονίου.

Για να φορτιστεί ένα σώμα αρνητικά αρκεί να μεταφέρουμε προς αυτό μία ποσότητα N ηλεκτρονίων και τότε θα συγκεντρωθεί σε αυτό συνολικό φορτίο ίσο με  $Q=N \cdot q_e < 0$ . Σε αυτή την περίπτωση έχει πλεόνασμα N ηλεκτρονίων.

Για να φορτιστεί ένα σώμα θετικά αρκεί να του πάρουμε N ηλεκτρόνια και τότε θα αποκτήσει φορτίο ίσο με  $Q=N \cdot |q_e| > 0$ . Σε αυτή την περίπτωση έχει έλλειμμα N ηλεκτρονίων.

**A11** Τα σώματα A, B, Γ και Δ είναι φορτισμένα. Το A έλκεται από το B, το B έλκεται από το Γ, ενώ τα Γ και Δ απωθούνται μεταξύ τους. Αν γνωρίζουμε ότι το Δ είναι θετικά φορτισμένο, να βρεις το είδος του ηλεκτρικού φορτίου των υπολοίπων σωμάτων.

Έχοντας υπόψιν μας ότι τα όμοια φορτισμένα σώματα απωθούνται και αντίθετα έλκονται, έχουμε ότι:

Αφού το Δ είναι θετικό και απωθείται με το Γ, τότε το Γ είναι θετικό και αυτό.

Αφού το Γ είναι θετικό και έλκεται με το Β, τότε το Β είναι αρνητικό.

Αφού το Β είναι αρνητικό και έλκεται με το Α, τότε το Α είναι θετικό.

**A12** Οι έννοιες **ηλέκτριση και φόρτιση** είναι ταυτόσημες ή διαφορετικές; Να δικαιολογήσεις την απάντησή σου.

Οι έννοιες της ηλέκτρισης και της φόρτισης δεν είναι ταυτόσημες. Υπάρχει μία μικρή διαφορά.

Ηλεκτρισμένο είναι ένα σώμα που αποκτά την ιδιότητα της ηλεκτρικής δύναμης και αυτό μπορεί να γίνει με δύο τρόπους: (α) λόγω μετακίνησης ηλεκτρονίων από ή προς αυτό και να μεταβληθεί έτσι το συνολικό του φορτίο ή (β) λόγω μη συμμετρικής κατανομής των θετικών και αρνητικών φορτίων ενώ το συνολικό φορτίο είναι μηδέν. Βλέπε στο σχολικό βιβλίο σελίδα 11.

Φορτισμένο είναι ένα σώμα όπου το συνολικό του φορτίο είναι μη μηδενικό.

Στην εικόνα 1.25 του σχολικού βιβλίου η σφαίρα είναι φορτισμένη γιατί έχει συνολικό φορτίο διαφορετικό του μηδενός αλλά και ηλεκτρισμένη γιατί εν δυνάμει μπορεί να ασκήσει ηλεκτρικές δυνάμεις, ενώ η ράβδος δεν είναι φορτισμένη γιατί το συνολικό της φορτίο είναι μηδέν αλλά είναι

ηλεκτρισμένη γιατί τα δύο άκρα της εμφανίζουν ηλεκτρικές ιδιότητες.

Επομένως ένα φορτισμένο σώμα είναι και ηλεκτρισμένο αλλά ένα ηλεκτρισμένο δεν είναι φορτισμένο.

**A13** Ένα αντικείμενο φορτίζεται αρνητικά. Προσπάθησε να ερμηνεύσεις αυτό το φαινόμενο θεωρώντας ότι η φόρτιση οφείλεται σε μετακίνηση ηλεκτρονίων. Με ανάλογο τρόπο ερμήνευσε τη διαδικασία με την οποία αποκτά θετικό φορτίο.

Όταν έχουμε ένα αφορτιστο αντικείμενο Α, με τριβή ή με επαφή με ένα άλλο αντικείμενο Β (βλέπε τρόπους ηλέκτρισης) μπορούμε να μετακινήσουμε ηλεκτρόνια από το Β προς το Α. Έτσι λοιπόν το σώμα Α θα έχει πλεόνασμα ηλεκτρονίων και θα αποκτήσει αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο. Αν τα ηλεκτρόνια που μετακινήθηκαν είναι N σε πλήθος τότε το φορτίο που θα αποκτήσει το σώμα Α είναι ίσο με  $Q=N \cdot q_e < 0$ .

Όμοια, Όταν έχουμε ένα αφορτιστο αντικείμενο Α τότε με τριβή ή με επαφή με ένα άλλο αντικείμενο Β μπορούμε να μετακινήσουμε ηλεκτρόνια από το Α προς το Β. Έτσι λοιπόν το σώμα Α θα έχει έλλειμμα ηλεκτρονίων και θα αποκτήσει θετικό ηλεκτρικό φορτίο. Αν τα ηλεκτρόνια που μετακινήθηκαν είναι N σε πλήθος τότε το φορτίο που θα αποκτήσει το σώμα Α είναι ίσο με  $Q=N \cdot |q_e| > 0$ .

**A14** **Τρίβεις** μεταξύ τους δύο σώματα Α και Β οπότε τα σώματα φορτίζονται. Τι θα έπρεπε να γνωρίζεις για να προβλέψεις ποιο σώμα θα αποκτήσει θετικό και ποιο αρνητικό φορτίο;

Ας υποθέσουμε ότι τα σώματα που τρίβουμε είναι και τα δύο μονωτές και χάριν ευκολίας αποτελούνται από άτομα. Κάθε άτομο ενός μονωτή αποτελείται όπως γνωρίζεται από τον θετικό πυρήνα και ένα νέφος από αρνητικά ηλεκτρόνια που γυρίζουν γύρω από αυτόν. Ο θετικός πυρήνας σε αυτή την περίπτωση είναι αρκετά δυνατός και έλκει τα αρνητικά ηλεκτρόνια και μπορεί να συγκρατεί ακόμα και αυτά που βρίσκονται μακριά του. Επομένως στους μονωτές δεν υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια.

Φυσικά τα σώματα Α και Β είναι διαφορετικά κατά συνέπεια να είναι διαφορετικά και τα άτομα από τα οποία αποτελούνται. Ας υποθέσουμε ότι τα άτομα του μονωτή Α κρατάνε με μεγαλύτερη δύναμη τα εξωτερικά τους ηλεκτρόνια από ότι τα άτομα του μονωτή Β.

Τώρα αν τρίψουμε τα δύο υλικά μεταξύ τους τότε τα πιο δυνατά άτομα Α αποσπών κάποια εξωτερικά ηλεκτρόνια από τα πιο ασθενικά άτομα Β. Το αποτέλεσμα είναι να μετακινούνται ηλεκτρόνια από το Β στο Α. Έτσι το Α φορτίζεται αρνητικά και το Β θετικά.

Λάβετε υπόψιν σας ότι η τριβή παρέχει αρκετή ενέργεια για να αποσπαστούν εξωτερικά ηλεκτρόνια από άτομα που οι πυρήνες τους τα συγκρατούν αρκετά δυνατά.

Επίσης τα ηλεκτρόνια που πήγαν στο σώμα Α δεσμεύτηκαν κοντά στα άτομα και δεν μπορούν να απομακρυνθούν από αυτά. Έτσι λοιπόν φορτίζεται μόνο η περιοχή (η επιδερμίδα) του υλικού στο σημείο της τριβής

**A15** Χρησιμοποίησε τον πίνακα 1.2 της σελίδας 17 και προσδιόρισε το είδος του φορτίου που αποκτήα μια γυάλινη ράβδος αν την τρίψεις με ύφασμα από α) αμίαντο και β) μετάξι; Να εξηγήσεις το συμπέρασμα σου

(α) Σύμφωνα με το σχήμα του βιβλίου ηλεκτρόνια κινούνται από τον αμίαντο προς το γυαλί. Σε αυτή την περίπτωση η γυάλινη ράβδος φορτίζεται αρνητικά.

(β) Επίσης ηλεκτρόνια κινούνται από το γυαλί προς το μετάξι, επομένως σε αυτή την περίπτωση η γυάλινη ράβδος φορτίζεται θετικά. (βλέπε και προηγούμενη άσκηση 12)

**A16** Με μια πλαστική σακούλα τρίβεις μια μεταλλική σφαίρα. Διαπιστώνεις ότι η σφαίρα φορτίστηκε θετικά. Ποιο είναι το είδος του ηλεκτρικού φορτίου που απέκτησε η σακούλα μετά την τριβή; Πώς ερμηνεύεις το φαινόμενο αυτό;

Αφού η αγωγίμη σφαίρα φορτίστηκε θετικά βγάζουμε το συμπέρασμα ότι ηλεκτρόνια έφυγαν από την μεταλλική σφαίρα και πήγαν προς την σακούλα (μονωτή) η οποία φορτίστηκε αρνητικά.

Αφού μέσα στην μεταλλική σφαίρα υπάρχουν πολλά ελεύθερα ηλεκτρόνια, δηλαδή ηλεκτρόνια που δεν τα έλκει κανένας πυρήνας είναι πολύ εύκολο να τα δεσμεύσουν οι πυρήνες του μονωτή (αρκεί να έρθουν σε στενή επαφή, με τριβή, τα δύο υλικά) οι οποίοι έχουν αρκετή δύναμη στο να έλκουν ηλεκτρόνια.

Επομένως όλος ο όγκος του αγωγού φορτίστηκε θετικά αφού τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που έμειναν μέσα στην μεταλλική σφαίρα ανακατανεμήθηκαν

σε όλο της τον όγκο, ενώ τα ηλεκτρόνια που πήγαν στον μονωτή δεσμεύτηκαν από τα άτομα στην περιοχή που έγινε η τριβή, έτσι ο μονωτής φορτίστηκε αρνητικά τοπικά.

**A17** Διαθέτεις δύο ίδιες μεταλλικές σφαίρες. Η μία έχει θετικό φορτίο  $+10 \mu\text{C}$  και η άλλη είναι ουδέτερη. Τις φέρνεις σε επαφή μεταξύ τους και στη συνέχεια τις απομακρύνεις. α) Ποιο είναι το είδος και η ποσότητα ηλεκτρικού φορτίου κάθε σφαίρας μετά την επαφή τους; β) Να δικαιολογήσεις την απάντησή σου.

Το αρχικό συνολικό φορτίο των δύο σφαιρών πριν γίνει η επαφή είναι ίσο με  $+10 \mu\text{C} + 0 = +10 \mu\text{C}$ . Λόγω της αρχής διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου το συνολικό φορτίο και των δύο σφαιρών μετά από την επαφή τους και την απομάκρυνσή τους θα πρέπει να είναι πάλι ίσο με  $+10 \mu\text{C}$ .

Τώρα θα προσπαθήσουμε να εξηγήσουμε γιατί κάθε μία σφαίρα έχει από  $+5 \mu\text{C}$  και όχι κάποια άλλα φορτία που το άθροισμά τους να κάνει  $+10 \mu\text{C}$ .

Πριν φέρουμε σε επαφή τις δύο σφαίρες, αυτή που ήταν φορτισμένη θετικά (σφαίρα Α) είχε έλλειμμα  $N$  ηλεκτρονίων που όλα μαζί αυτά τα ηλεκτρόνια είχαν συνολικό φορτίο ίσο με  $-10 \mu\text{C}$ , επομένως η σφαίρα Α απομένει με φορτίο  $+10 \mu\text{C}$ . Η άλλη σφαίρα (σφαίρα Β) που είναι ουδέτερη έχει τόσα ηλεκτρόνια όσα και ιόντα.

Όταν οι δύο σφαίρες είναι σε επαφή τα ελεύθερα ηλεκτρόνια τείνουν να ανακατανεμηθούν σε όλο τον χώρο και των δύο σφαιρών. Επομένως θα φύγουν ηλεκτρόνια από την σφαίρα από την οποία

λείπουν λιγότερα και θα πάνε σε αυτή που τις λείπουν περισσότερα σε σχέση με τα θετικά ιόντα. Τα ηλεκτρόνια τείνουν να κινούνται προς τις πιο άδειες περιοχές με σκοπό να τις γεμίσουν. Φανταστείτε τα σαν ένα αέριο που μεταγγίζεται από τον ένα όγκο στον άλλον. Μεγαλύτερο έλλειμμα έχει η σφαίρα Α επομένως ηλεκτρόνια κινούνται από την Β προς την Α.

Επομένως η σφαίρα Β θα φορτιστεί θετικά αφού χάνει ηλεκτρόνια (αρχικά ήταν ουδέτερη), ενώ η σφαίρα Α εξακολουθεί να είναι θετική (αλλά λιγότερο θετική) αφού προς αυτήν πήγαν ηλεκτρόνια αλλά όχι αρκετά και να συμπληρώσει το κενό της.

Τα ηλεκτρόνια έχουν την τάση να ισοκατανεμούνται. Αφού λοιπόν οι σφαίρες είναι ίδιες κάθε μία θα αποκτήσει το ίδιο έλλειμμα ηλεκτρονίων επομένως κάθε σφαίρα θα αποκτήσει από  $+5 \mu\text{C}$ .

**A18** Με ένα αρνητικά φορτισμένο αντικείμενο αγγίζεις το δίσκο ενός ηλεκτροσκοπίου. Τι θα παρατηρήσεις στα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου; Πώς εξηγείς αυτό που συμβαίνει;

Το αρνητικά φορτισμένο αντικείμενο έχει περίσσια ηλεκτρονίων.

Ο μεταλλικός δίσκος του ηλεκτροσκοπίου μαζί με το μεταλλικό στέλεχος και τα μεταλλικά κινητά φύλλα είναι ουδέτερα και έτσι έχουν τόσα ελεύθερα ηλεκτρόνια όσα και τα θετικά ιόντα

Όταν ακουμπήσουμε το αρνητικά φορτισμένο αντικείμενο με τον δίσκο του ηλεκτροσκοπίου τότε ελεύθερα ηλεκτρόνια φεύγουν από το αρνητι-

κά φορτισμένο αντικείμενοι και πάνε προς τον δίσκο.

Τα ηλεκτρόνια έχουν την τάση να ισοκατανέμονται σε όλο τον όγκο του μετάλλου, έτσι ο δίσκος, το στέλεχος και τα κινητά φύλλα γεμίζουν από ηλεκτρόνια.

Επομένως τα κινητά φύλλα γίνονται αρνητικά με αποτέλεσμα να απωθούνται και να ανοίγουν.

Εμείς μακροσκοπικά αυτό που παρατηρούμε είναι η κίνηση των φύλων. Από αυτό καταλαβαίνουμε ότι το αρχικό φορτισμένο σώμα ήταν ηλεκτρισμένο.

**A19** Πλησιάζεις στο στέλεχος ενός **ηλεκτροσκοπίου**, χωρίς να το ακουμπήσεις, μια θετικά φορτισμένη ράβδο. Παρατηρείς ότι τα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου ανοίγουν. Προσπάθησε να ερμηνεύσεις αυτό το φαινόμενο. Τι θα παρατηρούσες στην περίπτωση που η ράβδος ήταν αρνητικά φορτισμένη; Εξήγησέ το.

Η διαφορά σε αυτή την περίπτωση σε σχέση με την άσκηση 18 είναι ότι ο δίσκος, το στέλεχος και τα κινητά φύλλα ηλεκτρίζονται με επαγωγή.

Όταν πλησιάσουμε ένα θετικά φορτισμένο αντικείμενο τότε ο δίσκος φορτίζεται αρνητικά και τα κινητά φύλλα θετικά με αποτέλεσμα να απωθούνται και να απομακρύνονται.

Όταν πλησιάσουμε ένα αρνητικά φορτισμένο αντικείμενο τότε ο δίσκος φορτίζεται θετικά και τα κινητά φύλλα αρνητικά με αποτέλεσμα να απωθούνται και να απομακρύνονται.

Δηλαδή και στις δύο περιπτώσεις τα φύλλα ανοίγουν.

Για να θυμηθείς τον τρόπο όπου ένα αντικείμενο ηλεκτρίζεται με επαγωγή διάβασε πάλι την άσκηση 13 στην σελίδα 7.

**A20** Σύνδεσε τον μεταλλικό δίσκο ενός **ηλεκτροσκοπίου** με το έδαφος μέσω ενός σύρματος και πλησίασε στον δίσκο μια αρνητικά φορτισμένη σφαίρα. Τι θα παρατηρήσεις και πώς το εξηγείς; Τι θα συμβεί αν απομακρύνεις τη σφαίρα α) με το σύρμα συνδεδεμένο; β) αφού αποσυνδέσεις το σύρμα από το ηλεκτροσκόπιο; Εξήγησέ το. Με βάση το παραπάνω πείραμα μπορείς να συμπεράνεις αν ένας αγωγός είναι δυνατόν να φορτιστεί με επαγωγή ή όχι;

Επιτρέψτε μου να αναλύσω αυτό το περίπλοκο φαινόμενο με απλούς όρους.

Πρέπει να έχετε υπόψιν σας ότι όταν ενώσουμε έναν αρνητικό αγωγό Α με την Γη διαμέσου ενός σύρματος, τότε η περίσσια των ηλεκτρονίων που έχει, διαφεύγει διαμέσου του σύρματος προς την Γη και εκφορτίζεται.

Εάν ο αγωγός ήταν θετικός, έχει δηλαδή έλλειμμα ηλεκτρονίων τότε έρχονται τόσα ηλεκτρόνια από την Γη με σκοπό πάλι ο αγωγός να εκφορτιστεί (να γίνει ουδέτερος)

Επομένως και στις δύο περιπτώσεις ηλεκτρόνια κινούνται από ή προς την Γη με σκοπό ο αγωγός Α να γίνει ουδέτερος.

Δηλαδή η Γη λειτουργεί ως αγωγός και μάλιστα τόσο μεγάλος ώστε να συμπεριφέρεται πρακτικά

σαν άπειρη πηγή ή καταβόθρα ηλεκτρονίων όταν αυτά λείπουν ή πλεονάζουν (Βλέπε Φυσική Η. Young σελ 608"

Αλλιώς, πάρτε δύο όμοιες μεταλλικές σφαίρες όπου η μία εκ των δύο είναι αρνητικά φορτισμένη. Αν τις φέρουμε σε επαφή τότε το φορτίο (τα πλεονάζοντα ηλεκτρόνια) θα μοιραστεί και στις δύο. Πάρτε τώρα δύο μεταλλικές σφαίρες όπου η μία είναι μεγαλύτερη από την άλλη και η μικρή είναι φορτισμένη αρνητικά ενώ η μεγάλη είναι ουδέτερη. Όταν τις φέρουμε σε επαφή τότε η μεγαλύτερη λόγω μεγαλύτερου όγκου θα πάρει περισσότερα ηλεκτρόνια άρα το φορτίο της μικρής θα μειωθεί σημαντικά, περισσότερα από την πρώτη φορά. Τέλος, πάρτε μία μικρή αρνητική μεταλλική σφαίρα και μία πάρα πολύ μεγάλη αγωγίμη σφαίρα όπως την Γη. Σε αυτή την ακραία περίπτωση το φορτίο της μικρής σφαίρας θα φύγει σχεδόν εξολοκλήρου και θα πάει στην Γη. (βλέπε PSSC ΦΥΣΙΚΗ, σελ. 224)

Σε αυτές τις περιπτώσεις λέμε ότι έχουμε γειώσει τον αγωγό Α. Στο σημείο όπου έχουμε ακουμπήσει τον αγωγό με το σύρμα σε εκείνο το σημείο έρχονται ή φεύγουν τα ηλεκτρόνια.

Θα εξηγήσουμε τώρα το φαινόμενο της άσκησης. Έχουμε συνδέσει τον δίσκο του ηλεκτροσκοπίου διαμέσου ενός σύρματος με την Γη. Έχουμε δηλαδή δημιουργήσει ένα εύκολο δρόμο για να κινηθούν διαμέσου του τα ηλεκτρόνια από ή προς την Γη.

Όταν πλησιάσουμε την αρνητικά φορτισμένη σφαίρα κοντά στον δίσκο, τότε η σφαίρα απωθεί

εξ επαγωγής τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του. Τα ηλεκτρόνια αυτά έχουν δύο δρόμους διαφυγής έναν προς τα κινητά φύλλα και έναν δεύτερο προς την Γη διαμέσου του σύρματος. Τελικά θα διαλέγουν τον εύκολο δρόμο, δηλαδή θα κινηθούν προς την Γη. Αλλιώς, όταν ένα σώμα μοιράζεται πλεονάζον φορτίο με την Γη τότε θα του το πάρει εξολοκλήρου η Γη.

Το αποτέλεσμα είναι ο δίσκος να φορτιστεί θετικά αφού θα έχει χάσει κάποια από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του (αυτά που απωθεί η σφαίρα και διοχετευτήκαν προς την Γη) ενώ το στέλεχος και τα φύλλα εξακολουθούν να είναι ουδέτερα (αφού σε αυτά δεν έφτασε κανένα επιπλέον ηλεκτρόνιο).

(α) Αν απομακρύνουμε την αρνητικά φορτισμένη σφαίρα από τον δίσκο τότε τα ηλεκτρόνια που είχαν φύγει προς την Γη θα επανέλθουν στην θέση τους και έτσι όλο το ηλεκτροσκόπιο θα γίνει πάλι ουδέτερο.

(β) Κόβουμε το σύρμα που συνδέει τον δίσκο με την Γη και μετά απομακρύνουμε την αρνητικά φορτισμένη σφαίρα.

Τώρα δεν μπορούν να έρθουν ηλεκτρόνια από την Γη για να συμπληρώσουν το κενό του δίσκου. Επομένως όλα τα ηλεκτρόνια του ηλεκτροσκοπίου ισοκατανέμονται στον δίσκο, στο στέλεχος και στα φύλλα με αποτέλεσμα να έχουμε ένα συνολικό έλλειμμα ηλεκτρονίων και έτσι όλο το ηλεκτροσκόπιο να είναι φορτισμένο θετικά.

Αυτή και μία μέθοδος για να φορτίσουμε ένα αντικείμενο με επαγωγή!

**A21** Μια φορτισμένη χτένα έλκει μικρά κομμάτια χαρτί ή μια λεπτή φλέβα νερού. Να ερμηνεύσεις τα δύο φαινόμενα επισημαίνοντας τις ομοιότητές τους.

(α) Εάν τρίψουμε μία πλαστική χτένα με ένα κομμάτι μαλλί τότε η χτένα θα φορτιστεί αρνητικά αφού ηλεκτρόνια θα μετακινηθούν από το ύφασμα στην χτένα.

Όταν πλησιάσουμε την φορτισμένη χτένα κοντά σε **κομματάκια χαρτιού**, τα οποία είναι μονωτές, θα πολώσει τα μόρια του χαρτιού με τέτοιο τρόπο που η θετική τους πλευρά να είναι προς την πλευρά της χτένας.

Συνολικά το κάθε κομμάτι χαρτιού θα εμφανίσει θετικό φορτίο στην πλευρά που είναι κοντά στην χτένα και αρνητικό φορτίο στην εκ διαμέτρου αντίθετη πλευρά.

Δηλαδή τα κομματάκια χαρτιού θα ηλεκτριστούν. Τώρα μεταξύ τις χτένας και των ηλεκτρισμένων κομματιών χαρτιού θα αναπτυχθούν συνολικά ελκτικές δυνάμεις και έτσι τα κομματάκια χαρτιού τείνουν να πλησιάσουν και να κολλήσουν πάνω στην χτένα.

Πάνω στα κομματάκια χαρτιού και στην χτένα ασκούνται ελκτικές δυνάμεις από την κοντινή πλευρά του χαρτιού και απωστικές από την μακρινή. Υπερισχύουν οι ελκτικές γιατί είναι η απόσταση μικρότερη.

(β) Το νερό της βρύσης προέρχεται από διάφορες πηγές. Καθώς περνάει μέσα από το έδαφος διαλύει διάφορα άλατα και ενσωματώνει τα ιόντα τους. Επομένως εκτός από τα μόρια του νερού, μέσα

στο νερό της βρύσης θα βρούμε θετικά και αρνητικά ιόντα.

Τα μόρια του νερού ανήκουν στην κατηγορία των μονωτών ενώ τα διάφορα ιόντα μπορούν να κινούνται ελεύθερα όπως και τα ελεύθερα ηλεκτρόνια μέσα στα μέταλλα.

Τώρα αν πλησιάσουμε την αρνητικά φορτισμένη χτένα στην **φλέβα του νερού** τότε συμβαίνουν τα εξής: Τα αρνητικά ιόντα απομακρύνονται από την χτένα, τα θετικά πλησιάζουν προς την περιοχή της χτένας και τα μόρια του νερού προσανατολίζονται με την θετική πλευρά προς την χτένα.

Το σύνολο των δυνάμεων που ασκούνται είναι ελκτικό με αποτέλεσμα η φλέβα του νερού να πλησιάζει προς την χτένα.

**A22** Τρίβεις ένα **πλαστικό μπαλόνι** με μάλλινο ύφασμα και το πλησιάζεις σε έναν τοίχο. Παρατηρείς ότι το μπαλόνι αρχικά κολλάει στον τοίχο, αλλά μετά από λίγο πέφτει. Εξήγησε με βάση τους τρόπους ηλεκτρισμού όλη την διαδικασία.

Βλέπε άσκηση 5, γ-ερώτημα στην σελίδα 5.

Λόγω της μεταφοράς φορτίων από το μπαλόνι στον αέρα η ποσότητα των ηλεκτρονίων στην επιφάνεια του μπαλονιού ελαττώνεται, με αποτέλεσμα να ελαττώνονται και οι ελκτικές δυνάμεις που δημιουργούν σημαντική τριβή που το συγκρατεί κολλημένο.

Πολύ σπουδαίο ρόλο σε αυτό το φαινόμενο διαδραματίζει η δύναμη της τριβής.

**A23** Ένας φοιτητής στο εργαστήριο της βιολογίας ισχυρίστηκε ότι: «Το φορτίο ενός φορτισμένου

μορίου μετά από μέτρηση προέκυψε ότι είναι  
». Μπορείς να αποδείξεις ότι η πρόταση αυτή δεν μπορεί να είναι αληθής;

**Το ηλεκτρικό φορτίο είναι κβαντισμένο**, επομένως το φορτίο που μέτρησε ο φοιτητής θα πρέπει να είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του ελάχιστου φορτίου που υπάρχει στην φύση· το ένα κβάντο φορτίου που είναι ίσο με  $|q_e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$   
Με διαίρεση βρίσκουμε ότι:  $\frac{4 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 2,5$ .

Επομένως το φορτίο που μέτρησε ο φοιτητής δεν είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του  $|q_e|$ , άρα δεν μπορεί να υπάρχει τέτοιο φορτίο.

**A24** Με βάση το γεγονός ότι η φόρτιση των σωματιδίων οφείλεται σε μετακίνηση ηλεκτρονίων πώς θα ερμηνεύσεις α) τη διατήρηση και β) την κβάντωση του ηλεκτρικού φορτίου;

(α) Η **αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου** μας πληροφορεί ότι το συνολικό φορτίο που υπάρχει στην φύση παραμένει σταθερό και απλά μετακινείται από σώμα σε σώμα, χωρίς να δημιουργείται από το τίποτα και ούτε να καταστρέφεται.

Στα πλαίσια του μαθήματος το ηλεκτρικό φορτίο βρίσκεται μέσα σε δύο ειδών σωματίδια: τα ηλεκτρόνια και τα πρωτόνια. Τα ηλεκτρόνια μπορούν να μετακινούνται από σώμα σε σώμα μεταφέροντας και το φορτίο που περιέχουν. Τα πρωτόνια παραμένουν εγκλωβισμένα μέσα στους πυρήνες των ατόμων και δεν μπορούν να μετακινούνται. Υπάρχουν βέβαια και μερικές εξαιρέσεις, όπου

πλέονασμα πρωτονίων κινείται ελεύθερα, φερόμενο από θετικά ιόντα, π.χ. μέσα σε διάλυμα.

Σε όλες τις περιπτώσεις, ισχύει η αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου.

(β) Αφού τα ηλεκτρόνια είναι αυτά που κινούνται και κουβαλάνε μαζί τους και το φορτίο τους που είναι πάντα σταθερό και ίσο με  $-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  έχουμε σαν αποτέλεσμα το φορτίο που κινείται ή που υπάρχει σε ένα σώμα να είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του στοιχειώδους φορτίου του ηλεκτρονίου.

Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται και **κβάντωση του ηλεκτρικού φορτίου**. Η κβάντωση είναι κάτι συνηθισμένο, π.χ. τα ευρώ είναι κβαντισμένα με κβάντο ίσο με ένα λεπτό, αφού η μικρότερη ποσότητα που μπορούμε να έχουμε στην τσέπη μας είναι το ένα λεπτό.

**A25** Με ποιον τρόπο μπορείς να συμπεράνεις αν σ' έναν χώρο υπάρχει **ηλεκτρικό πεδίο** όταν διαθέτεις ένα ηλεκτρικό εκκρεμές του οποίου το σφαιρίδιο είναι ηλεκτρικά φορτισμένο;

Έχουμε υπόψιν μας ότι, ένα ηλεκτρικό πεδίο ασκεί δύναμη σε ένα φορτισμένο σώμα, π.χ. σε ένα ηλεκτρόνιο ή σε ένα άτομο το οποίο θα βρεθεί μέσα στο πεδίο.

Όταν ένας αγωγός βρεθεί μέσα σε ένα εξωτερικό πεδίο τότε το πεδίο θα ασκήσει δύναμη στα ελεύθερα ηλεκτρόνια και θα τα μετακινήσει.

Όταν ένας μονωτής βρεθεί μέσα σε ένα πεδίο τότε το πεδίο θα ασκήσει δύναμη πάνω στα μόρια και

θα τα πολώσει αφού ασκεί αντίθετες δυνάμεις στον πυρήνα και στο ηλεκτρονιακό νέφος.

Στην περίπτωση της άσκησης, αν έχουμε ένα πεδίο και μέσα σε αυτό το πεδίο τοποθετούμε το μπαλάκι του ηλεκτρικού εκκρεμούς που μάλιστα το έχουμε φορτίσει. Το πεδίο θα ασκήσει δύναμη πάνω στα επιμέρους φορτία που βρίσκονται μέσα στο μπαλάκι (πυρήνες, ηλεκτρονιακό νέφος, πλεόνασμα φορτίου λόγω φόρτισης) με αποτέλεσμα να το μετατοπίσει.

Αν όμως δεν υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο τότε δεν θα ασκηθεί καμία δύναμη πάνω στο φορτισμένο μπαλάκι.

Επομένως, αν παρατηρήσουμε κάποια μετατόπιση στο μπαλάκι του ηλεκτρικού εκκρεμούς αυτό θα σημαίνει ότι του έχει ασκηθεί δύναμη η οποία προέρχεται από το ηλεκτρικό πεδίο.

**A26** Να σχεδιάσεις ποιοτικά τις δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται στον χώρο μεταξύ δύο αντίθετα φορτισμένων παράλληλων μεταλλικών πλακών.

Στην κεντρική περιοχή, ανάμεσα στις μεταλλικές πλάκες οι δυναμικές γραμμές είναι ευθείες, παράλληλες και ισαπέχουσες, ενώ η κατεύθυνσή τους είναι από την θετική πλάκα προς την αρνητική.

Το πεδίο αυτό ονομάζεται **ομογενές ηλεκτρικό πεδίο**, είναι δηλαδή ίδιο (σταθερό) σε κάθε σημείο του χώρου.

Στην περιοχή ανάμεσα στις πλάκες (μέσα στον πυκνωτή) αλλά περιφερειακά αυτών και όχι στο

κέντρο, το πεδίο δεν είναι ομογενές αλλά αποκλίνει.

**A27** Στο ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται γύρω από ένα φορτισμένο σώμα αποθηκεύεται ενέργεια. Ποια είναι η προέλευση αυτής της ενέργειας;

Πρέπει να έχουμε υπόψιν μας ότι **η ενέργεια διατηρείται**, δηλαδή δεν χάνεται ούτε και δημιουργείται εκ του μηδενός.

Ας υποθέσουμε ότι αρχικά έχουμε ένα στοιχειώδες θετικό φορτίο στον κενό χώρο. Αυτό από μόνο του δεν έχει ενέργεια αφού δεν αλληλεπιδρά με κανένα άλλο φορτίο.

Φέρνουμε τώρα ένα δεύτερο θετικό ηλεκτρικό φορτίο, που επειδή απωθείται από το πρώτο, πρέπει να ξοδέψουμε ενέργεια (να κουραστούμε) για το να πλησιάσουμε στο πρώτο. Η ενέργεια αυτή προήλθε από εμάς που το σπρώξαμε και πήγε στο σύστημα των δύο φορτίων, που τώρα είναι αρκετά κοντά.

Με τον ίδιο τρόπο μπορούμε να φέρουμε όσα θετικά ηλεκτρικά φορτία θέλουμε και να σχηματίσουμε ένα σύνολο από φορτία. Στο σύστημα αυτών των φορτίων έχουμε αποθηκεύσει **ηλεκτρική δυναμική ενέργεια**, η οποία πρώτα ήταν δική μας.

Την ενέργεια αυτή που είναι αποθηκευμένη στο σύστημα των φορτίων λέμε ότι την αποθηκεύουμε στο πεδίο αυτών των φορτίων.

Την ενέργεια αυτή μπορούμε να την ξαναπάρουμε αν διαλύσουμε το σύστημα των φορτίων απομακρύνοντας τα.

**A28** Φέρνεις σε επαφή το σφαιρίδιο ενός ηλεκτρικού εκκρεμούς με τον έναν πόλο μιας **μηχανής Wimshurst** (εικόνα 1.42). Παρατηρείς ότι το σφαιρίδιο κινείται από τον ένα πόλο της μηχανής στον άλλο. Ποιες από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστές; Να τεκμηριώσεις την επιλογή σου.

(α) Το σφαιρίδιο είναι φορτισμένο και βρίσκεται μέσα στο **ηλεκτρικό πεδίο** που έχει δημιουργηθεί μεταξύ των πόλων της μηχανής.

Αυτή η πρόταση είναι σωστή, διότι, όταν φέρουμε σε επαφή το σφαιρίδιο με τον έναν πόλο της μηχανής, τότε αυτό θα φορτιστεί. Ανάμεσα στους δύο πόλους της μηχανής δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο το οποίο θα ασκήσει δύναμη πάνω στο φορτισμένο σφαιρίδιο και θα το μετακινήσει προς τον άλλο πόλο.

(β) Η **ηλεκτρική δυναμική ενέργεια** του σφαιριδίου μετατρέπεται σε κινητική.

Η πρόταση είναι σωστή.

Όταν το σφαιρίδιο ακουμπήσει στον ένα πόλο της μηχανής π.χ. στον θετικό θα φορτιστεί και αυτό θετικό. Αφού τώρα δύο ομώνυμα φορτία βρίσκονται κοντά το ένα στο άλλο, απωθούνται και έχει αποθηκευτεί στο σύστημά τους ηλεκτρική δυναμική ενέργεια. Την ενέργεια αυτή την μοιράζονται αλλά χάριν ευκολίας λέμε ότι την κατέχει εξολοκλήρου το θετικό σφαιρίδιο.

Λόγω των απωστικών δυνάμεων από τον θετικό πόλο και των ελκτικών από τον αρνητικό πόλο (αλλιώς λόγω των δυνάμεων που ασκούνται από το πεδίο της μηχανής) το σφαιρίδιο επιταχύνεται

προς τον αρνητικό πόλο με αποτέλεσμα η δυναμική ενέργεια να μετατρέπεται σε κινητική

(γ) Το σφαιρίδιο κινείται γιατί πάνω του ασκείται το βάρος του και η δύναμη από το νήμα του εκκρεμούς (τάση του νήματος).

Η πρόταση είναι λανθασμένη. Το φορτισμένο σφαιρίδιο κινείται από την δύναμη του πεδίου της μηχανής.

(δ) Η ηλεκτρική δυναμική ενέργεια του σφαιριδίου είναι ίση με το **έργο** της δύναμης που ασκείται στο σφαιρίδιο για να πλησιάσει στον όμοια φορτισμένο πόλο της μηχανής.

Η πρόταση είναι σωστή με την προϋπόθεση ότι αρχικά είχαμε ένα θετικά φορτισμένο σφαιρίδιο (και όχι ουδέτερο) πολύ μακριά από τον θετικό πόλο της μηχανής. Για να το πλησιάσουμε στον θετικό πόλο πρέπει να ξοδέψουμε ενέργεια, η οποία υπολογίζεται και είναι ίση με το έργο της εξωτερικής δύναμης που ασκούμε εμείς στο σφαιρίδιο. Όταν τελικά πλησιάσουμε το θετικό σφαιρίδιο στον θετικό πόλο η ενέργεια αυτή έχει αποθηκευτεί στο σύστημα των φορτίων. Λέμε όμως ότι βρίσκεται στο θετικό σφαιρίδιο.

Προσοχή το έργο αυτό δεν είναι ενέργεια αλλά ισούται με την ενέργεια. Είναι το αντίστοιχο με τις επιταγές και τα χρήματα. Οι επιταγές είναι ένα απλό χαρτάκι που αντιστοιχεί σε ένα χρηματικό ποσό, το οποίο όμως κανείς δεν μας διαβεβαιώνει ότι υπάρχει και μπορούμε να το εισπράξουμε!

**Ασκήσεις**

**A01** Δύο μεταλλικές σφαίρες Α και Β είναι φορτισμένες με φορτία  $-1\mu C$  και  $+4\mu C$  αντίστοιχα. Τα κέντρα τους βρίσκονται σε απόσταση  $2m$ . Να υπολογίσεις και να σχεδιάσεις (σε κοινό σχήμα) τη δύναμη που ασκεί η μία σφαίρα στην άλλη. Μπορείς να συνδέσεις αυτό που σχεδίασες με τον τρίτο νόμο του Νεύτωνα που διδάχτηκες στην προηγούμενη τάξη;

Πρέπει να λάβουμε υπόψιν μας ότι οι δυνάμεις σχεδιάζονται με την βοήθεια ενός βέλους. Αυτά τα βέλη ονομάζονται **διανύσματα**.

Σχεδιάζουμε δύο σφαίρες αντίθετα φορτισμένες. Βλέπε σχήμα 1.32 στο σχολικό βιβλίο, σελ 23. Σχεδιάζουμε την ευθεία που συνδέει τα δύο κέντρα των σφαιρών. Η ευθεία αυτή ονομάζεται **διεύθυνση**. Πάνω σε αυτή την διεύθυνση θα σχεδιάσουμε δύο δυνάμεις (δύο βέλη-διανύσματα). Η μία  $F_{BA}$  θα έχει **σημείο εφαρμογής** το κέντρο της σφαίρας Α και η άλλη  $F_{AB}$  το κέντρο της σφαίρας Β. Η  $F_{BA}$  είναι η δύναμη που ασκεί η σφαίρα Β στην σφαίρα Α και η δύναμη  $F_{AB}$  είναι η δύναμη που ασκεί η σφαίρα Α στην Β. Τα μήκη αυτών των δυνάμεων πρέπει να είναι ίσα, διότι αυτές οι δυνάμεις είναι ίσες σε **μέτρο**. Τέλος οι δυνάμεις αυτές είναι αντίθετες και έχουν **φορά** προς το εσωτερικό των δύο σφαιρών, είναι δηλαδή ελκτικές. Η διεύθυνση και η φορά με μία λέξη ονομάζονται **κατεύθυνση**. Με τον τρόπο αυτό ορίσαμε τα διανύσματα των δυνάμεων του προβλήματος. Το **διάνυσμα** είναι δηλαδή ένα βέλος που έχει μέτρο, διεύθυνση και φορά. Οι

δυνάμεις αυτές είναι ζεύγος δράσης αντίδρασης που εμφανίζεται κατά την αλληλεπίδραση των δύο σφαιρών. Η δράση και η αντίδραση είναι πάντα αντίθετες δυνάμεις (ίδιο μέτρο, αντίθετη κατεύθυνση). Προσοχή δεν μπορούμε να τις προσθέσουμε διότι είναι σε διαφορετικά σώματα.

Για να υπολογίσουμε το μέτρο αρκεί να πάρουμε τον τύπο από τον **νόμο του Κουλόμπ**. Έχουμε διαδοχικά:

$$F_{AB} = F_{BA} = F = K \frac{|q_1 \cdot q_2|}{r^2}$$

Το Κ είναι η ηλεκτρική σταθερά που εξαρτάται από το υλικό που είναι βυθισμένες οι σφαίρες και από το σύστημα μονάδων. Για το κενό, στο S.I. είναι:  $K = 9 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$ . Τα φορτία πρέπει να μετατραπούν στο Διεθνές Σύστημα μονάδων, δηλαδή  $q_1 = -1\mu C = -1 \cdot 10^{-6} C$  και για το άλλο φορτίο έχουμε  $q_2 = 4\mu C = 4 \cdot 10^{-6} C$ . Η απόλυτη τιμή σημαίνει να μετατρέψουμε τα πρόσημα των φορτίων σε θετικά. Έτσι μετά από την αντικατάσταση έχουμε:

$$F = 9 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2} \frac{1 \cdot 10^{-6} C \cdot 4 \cdot 10^{-6} C}{(2m)^2}$$

Εφαρμόζουμε την δύναμη στον παρανομαστή. Πολλαπλασιάζουμε και διαιρούμε τους αριθμούς που βρίσκονται μπροστά από τις δυνάμεις του 10. Δηλαδή  $\frac{9 \cdot 1 \cdot 4}{2^2} = 9$ . Μετά προσθέτουμε και αφαιρούμε τις δυνάμεις του 10. Όσες είναι στον αριθ-

μητή τις προσθέτουμε και όσες είναι στον παρανομαστή (εδώ δεν έχουμε) τις αφαιρούμε. Δηλαδή  $9 \cdot 6 \cdot 6 = 36$ . Κάνουμε και απλοποιήσεις με τις μονάδες. Επομένως έχουμε:

$$F = 9 \cdot 10^{-3} N$$

**A02** Τα κέντρα δύο μικρών φορτισμένων σφαιρών απέχουν 24 cm. Οι σφαίρες έλκονται με δύναμη της οποίας το μέτρο είναι 0,036 N. Σε πόση απόσταση πρέπει να τοποθετηθούν οι σφαίρες ώστε η δύναμη με την οποία έλκονται να γίνει 0,004 N;

Αρχικά υπολογίζουμε τον λόγο των δυνάμεων πριν και μετά την μετατόπιση ο οποίος είναι ίσος με:

$$\frac{0,036 N}{0,004 N} = 9$$

Αυτό σημαίνει ότι η δύναμη ελαττώθηκε κατά 9 φορές. Έχοντας υπόψιν μας ότι η δύναμη είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης και ότι τα φορτία διατηρούνται σταθερά βγάζουμε το συμπέρασμα ότι η απόσταση αυξήθηκε κατά 3 φορές.

Επομένως από 24cm έγινε  $24 \cdot 3 cm = 72 cm$ .

**A03** Μικρή χάλκινη σφαίρα έχει φορτίο  $+3,2 \mu C$ . Η χάλκινη σφαίρα απωθεί μια επίσης φορτισμένη σιδερένια σφαίρα με δύναμη μέτρου 6,4 N. Πόσα ηλεκτρόνια πρέπει να μεταφερθούν από τη χάλκινη σφαίρα ώστε η δύναμη να γίνει 3,2 N;

Αρχικά να υποθέσουμε ότι σύμφωνα με την διατύπωση της άσκησης ρωτάει πόσα ηλεκτρόνια πρέπει να μεταφερθούν προς την χάλκινη σφαίρα από κάπου άλλου και όχι από την σιδερένια.

Αρχικά υπολογίζουμε τον λόγο των δυνάμεων πριν και μετά από την απομάκρυνση των ηλεκτρονίων από την χάλκινη σφαίρα:

$$\frac{6,4}{3,2} = 2$$

Αυτό σημαίνει ότι η δύναμη ελαττώθηκε 2 φορές. Για να γίνει αυτό, με την προϋπόθεση ότι η απόσταση και το φορτίο της σιδερένιας σφαίρας διατηρείται σταθερό πρέπει το φορτίο της χάλκινης σφαίρας να ελαττωθεί και αυτό 2 φορές. Μην ξεχνάτε ότι η δύναμη είναι ανάλογη του γινομένου των δύο φορτίων.

Επομένως το φορτίο της χάλκινης σφαίρας πρέπει να γίνει ίσο με:  $\frac{+3,2 \mu C}{2} = 1,6 \mu C$ . Για να ελαττωθεί το θετικό φορτίο της χάλκινης σφαίρας κατά

$$\Delta Q = |Q_{\text{τελικό}} - Q_{\text{αρχικό}}| = |1,6 \mu C - 3,2 \mu C| = 1,6 \mu C$$

πρέπει να προστεθούν Ν ηλεκτρόνια (**κβάντωση**) στην θετική χάλκινη σφαίρα, τόσα όσα να σχηματίσουν φορτίο ίσο με  $\Delta Q = -1,6 \mu C$ . Για να υπολογίσουμε τον αριθμό αυτών των ηλεκτρονίων έχουμε:

$$N = \frac{\Delta Q}{q_e} = \frac{-1,6 \cdot 10^{-6} C}{-1,6 \cdot 10^{-19} C} = 1 \cdot 10^{13} \text{ ηλεκτρόνια.}$$

## Αλφαβητικό ευρετήριο

Αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου.....	6, 11, 13
Ηλεκτρικό πεδίο.....	
Αλληλεπίδραση δύο φορτίων.....	8
Ανίχνευση ηλεκτρικού πεδίου.....	13
Δυναμικές γραμμές.....	8, 14
Έργο εξωτερικής δύναμης.....	14
Ηλεκτρική δυναμική ενέργεια.....	14
Μηχανής Wimshurst.....	14
Ομογενές ηλεκτρικό πεδίο.....	8, 14
Ηλεκτρικό φορτίο.....	
Ανίχνευση ηλεκτρικού φορτίου.....	6
Ηλεκτροσκόπια.....	6, 8
Ηλέκτριση και φόρτιση.....	10
Κβάντωση του ηλεκτρικού φορτίου.....	10
Κβάντωση του ηλεκτρικού φορτίου.....	6, 13, 15
Νόμος του Κουλόμπ.....	
Αλληλεπίδραση δύο φορτίων.....	8p.
Αριθμητική εφαρμογή.....	7, 15
Δύναμη ως διάνυσμα.....	15
Τρόποι ηλέκτρισης.....	
Ηλέκτριση ηλεκτροσκοπίου με επαγωγή.....	12
Κεραυνός.....	5
Πλαστική σακούλα και μεταλλική σφαίρα.....	11
Πλαστικό μπαλόνι και τοίχος.....	6, 13
Πλαστικό στυλό και μάλλινη μπλούζα.....	5
Του ηλεκτρικού εκκρεμούς.....	5, 7
Φόρτιση ηλεκτροσκοπίου με επαγωγή.....	12
Φόρτιση ηλεκτροσκοπίου με επαφή.....	11
Χτένα και κομματάκια χαρτιού.....	7, 13
Χτένα και φλέβα νερού.....	5, 13

## Βιβλιογραφία

Θεωρώ ότι οι σημειώσεις αυτές είναι πρωτότυπο έργο. Παρόλα αυτά για να γράψω αυτές τις σημειώσεις μελέτησα προσεκτικά τα παρακάτω βιβλία:

1. Ν. Αντωνίου, Π. Δημητριάδης Κ. Καμπούρης, Κ. Παπαμιχάλης, Λ. Παπασίμπα, ΣΧΟΛΙΚΟ ΒΙΒΛΙΟ ΦΥΣΙΚΗ Γ' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ, 2022
2. 'Α Σαββάλας, Σ Σαββάλας, ΦΥΣΙΚΗ Γ' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ, 2008
3. HABER-SCHAIM, DODGE, WALTER, PSSC ΦΥΣΙΚΗ, 1993
4. H. D. YOUNG, ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΦΥΣΙΚΗ, 1992
5. SERWAY, PHYSICS FOR SCIENTISTS & ENGINEERS, 1990
6. E.M.PURCELL, ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ μαθήματα φυσικής πανεπ. BERKELEY, 1995
7. D. HALLIDAY, R. RESNICK, ΦΥΣΙΚΗ.
8. Δ. Γκενές, Φυσική Γ' Γυμνασίου Κεφάλαιο 1ο Ηλεκτρισμός
9. Καθώς και άλλες αναφορές στην Wikipedia, σε πειράματα (youtube, PHET, κ.α.) και συζητήσεις σε ιστολογία.

Παρακαλώ, ενημερώστε με για τυχόν λάθη ή παραλείψεις (johnkoum1@yahoo.gr).