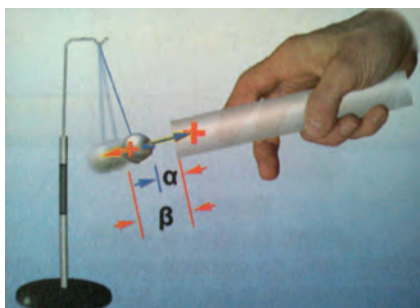


Εικόνα 1.33

Στον κόσμο των πλανητών, των αστέρων και των γαλαξιών κυριαρχούν οι βαρυτικές δυνάμεις. Στον κόσμο των ατόμων και των μορίων κυριαρχούν οι ηλεκτρικές δυνάμεις.



Εικόνα 1.34

Το μπαλάκι ηλεκτρίζεται από επαγωγή

Η απόσταση από τη ράβδο του θετικά φορτισμένου τμήματος της μπάλας είναι μεγαλύτερη από την απόσταση του αρνητικά φορτισμένου τμήματος. Η ελκτική δύναμη είναι μεγαλύτερη της απωστικής.



Εικόνα 1.35

Μάικλ Φαραντέι (Faraday, 1791-1867)

Άγγλος φυσικός. Ένας από τους θεμελιωτές του ηλεκτρομαγνητισμού και ίσως ο πιο σημαντικός πειραματικός φυσικός του 19ου αιώνα. Εισήγαγε τις έννοιες του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου, καθώς και των δυναμικών γραμμών.

Εικόνα 1.36 ►

(α) Η αφόρτιστη σφαίρα δεν ασκεί δύναμη στα αφόρτιστα σφαιρίδια.
(β) Η θετικά φορτισμένη σφαίρα ασκεί απωστική δύναμη στα θετικά φορτισμένα σφαιρίδια.

ίσους αριθμούς πρωτονίων και ηλεκτρονίων, οπότε το συνολικό φορτίο τους είναι μικρό.

Από την άλλη μεριά όμως οι ηλεκτρικές δυνάμεις παίζουν κυρίαρχο ρόλο στον σχηματισμό των ατόμων, των μορίων από τα άτομα, των κρυστάλλων και επομένως στις χημικές αντιδράσεις και τα βιολογικά φαινόμενα.

Αντίθετα, τα ουράνια σώματα έχουν ολικό φορτίο ίσο με το μηδέν. Έτσι οι κινήσεις τους προσδιορίζονται από τις βαρυτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ τους (εικόνα 1.33).

Έλξη μεταξύ φορτισμένου και ουδέτερου σώματος

Με τη βοήθεια του νόμου του Κουλόμπ μπορούμε να κατανοήσουμε γιατί ένα φορτισμένο σώμα έλκει ένα ουδέτερο. Όταν πλησιάζουμε μια θετικά φορτισμένη γυάλινη ράβδο σε ένα ουδέτερο μπαλάκι από αλουμινοχαρτό (εικόνα 1.34), το μπαλάκι ηλεκτρίζεται με επαγωγή. Η περιοχή της μπάλας κοντά στη ράβδο φορτίζεται αρνητικά και έλκεται από αυτήν, ενώ η περιοχή μακριά από τη ράβδο φορτίζεται θετικά και απωθείται. Επειδή η ράβδος βρίσκεται πλησιέστερα στην αρνητικά φορτισμένη περιοχή παρά στη θετικά φορτισμένη, η ελκτική δύναμη είναι μεγαλύτερη από την απωστική και επομένως το μπαλάκι έλκεται από τη ράβδο.

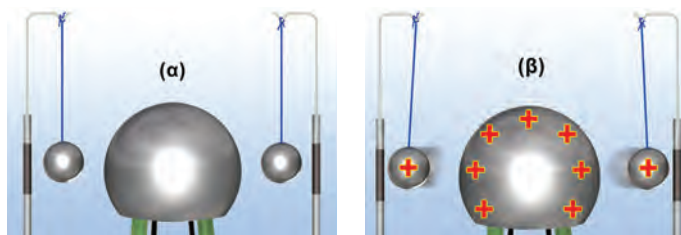
1.6 Το ηλεκτρικό πεδίο

Μάθαμε ότι η ηλεκτρική δύναμη δρα από απόσταση χωρίς να μεσολαβεί κάποιο υλικό μέσο μεταξύ των φορτισμένων σωμάτων. Το ίδιο συμβαίνει με τη μαγνητική και τη βαρυτική δύναμη. Ο Άγγλος φυσικός Μάικλ Φαραντέι (εικόνα 1.35), για να περιγράψει τις αλληλεπιδράσεις των σωμάτων από απόσταση, επινόησε την έννοια του πεδίου δυνάμεων.

Ηλεκτρική δύναμη και πεδίο

Η ηλεκτρική δύναμη δρα από απόσταση. Μεταξύ δύο φορτισμένων αντικειμένων αναπτύσσονται ηλεκτρικές δυνάμεις χωρίς να μεσολαβεί κανένα υλικό μέσο. Για παράδειγμα, στον χώρο που είναι κοντά στη σφαίρα μιας ηλεκτροστατικής μηχανής (συσκευή με τη βοήθεια της οποίας μπορούμε να φορτίσουμε ηλεκτρικά μια σφαίρα) Van de Graaff φέρνουμε ηλεκτρικά εκκρεμή.

Όταν η σφαίρα της μηχανής και τα σφαιρίδια στα ηλεκτρικά εκκρεμή φορτιστούν, τότε στα σφαιρίδια ασκείται ηλεκτρική δύναμη (εικόνα 1.36).



Στον χώρο γύρω από ένα φορτισμένο σώμα ασκούνται ηλεκτρικές δυνάμεις. Φαίνεται ότι ο χώρος γύρω από κάθε φορτισμένο σώμα αποκτά την εξής ιδιότητα: «Σε κάθε φορτισμένο σώμα που τοποθετείται σε αυτόν ασκείται ηλεκτρική δύναμη». Λέμε τότε ότι στον χώρο υπάρχει **ηλεκτρικό πεδίο** (εικόνα 1.37).

Γενικά μια περιοχή του χώρου ονομάζεται **ηλεκτρικό πεδίο**, αν ασκούνται ηλεκτρικές δυνάμεις σε κάθε φορτισμένο σώμα που φέρνουμε μέσα σ' αυτή.

Με την εισαγωγή της έννοιας του ηλεκτρικού πεδίου η άσκηση της ηλεκτρικής δύναμης περιγράφεται ως διαδικασία δύο βημάτων.

- Γύρω από κάθε φορτισμένο σώμα δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο.
- Τα φορτισμένα σώματα αλληλεπιδρούν μέσω των ηλεκτρικών πεδίων που δημιουργούν.

Για παράδειγμα ο πυρήνας δημιουργεί γύρω του ένα ηλεκτρικό πεδίο που ασκεί ηλεκτρική δύναμη στα ηλεκτρόνια του ατόμου. Αντίστοιχα τα ηλεκτρόνια δημιουργούν ηλεκτρικό πεδίο. Το ηλεκτρικό πεδίο των ηλεκτρονίων ασκεί ηλεκτρική δύναμη στον πυρήνα.

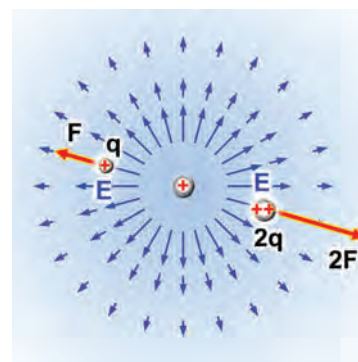
Πώς θα διαπιστώσουμε αν σε μια περιοχή του χώρου υπάρχει (ή όχι) ηλεκτρικό πεδίο;

Αρκεί να τοποθετήσουμε στην περιοχή αυτή ένα μικρό φορτισμένο σώμα, για παράδειγμα το φορτισμένο σωματίδιο ενός ηλεκτρικού εκκρεμούς). Αν υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο, τότε στο φορτισμένο σώμα θα ασκηθούν δυνάμεις που θα το εκτρέψουν από την αρχική θέση ισορροπίας του (εικόνα 1.37).



Εικόνα 1.37

Γύρω από τη φορτισμένη σφαίρα δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο. Το ηλεκτρικό πεδίο ασκεί δυνάμεις στα φορτισμένα σφαιρίδια.



Εικόνα 1.38

Μια αναπαράσταση του ηλεκτρικού πεδίου ενός σημειακού φορτίου μέσω των διανυσμάτων της δύναμης και της έντασης. Τα μπλε βέλη παριστάνουν την ένταση και τα κόκκινα τη δύναμη. Το μήκος των διανυσμάτων παριστάνει το μέτρο της έντασης.

Περιγραφή του ηλεκτρικού πεδίου

Πώς μπορούμε να περιγράψουμε ένα ηλεκτρικό πεδίο;

Ένας τρόπος είναι μέσω της ηλεκτρικής δύναμης που ασκεί στα φορτία που βρίσκονται μέσα σ' αυτό. Το μειονέκτημα αυτού του τρόπου είναι ότι η δύναμη αυτή εξαρτάται από το φορτίο. Όσο μεγαλύτερο είναι το φορτίο που φέρνουμε σ' ένα σημείο του πεδίου τόσο μεγαλύτερη είναι και η δύναμη που ασκεί το πεδίο σ' αυτό. Αν αλλάξει το φορτίο, αλλάζει και η δύναμη. Για να αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα αυτό, αναζητούμε τρόπους περιγραφής ανεξάρτητους από το φορτίο στο οποίο ασκείται η δύναμη. Ένας πρώτος τρόπος είναι η περιγραφή μέσω του μεγέθους που λέγεται **ένταση του ηλεκτρικού πεδίου**. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου συνδέεται με τη δύναμη που ασκείται από το πεδίο σε θετικό ηλεκτρικό φορτίο 1 C και τη συμβολίζουμε με το E (εικόνα 1.38).

– Μπορείς να σκεφθείς γιατί κατά τη λειτουργία των μυών δημιουργούνται γύρω τους ηλεκτρικά πεδία;
– Η καρδιά είναι ένας από τους σημαντικότερους μύες του ανθρώπινου σώματος. Κατά τη λειτουργία της δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο. Αναζήτησε πληροφορίες γι' αυτό το ηλεκτρικό πεδίο και να το συνδέσεις με το ηλεκτροκαρδιογράφημα.
– Αναζήτησε και άλλες ιατρικές εξετάσεις που να στηρίζονται στη δημιουργία ηλεκτρικών πεδίων από διάφορα ανθρώπινα όργανα.

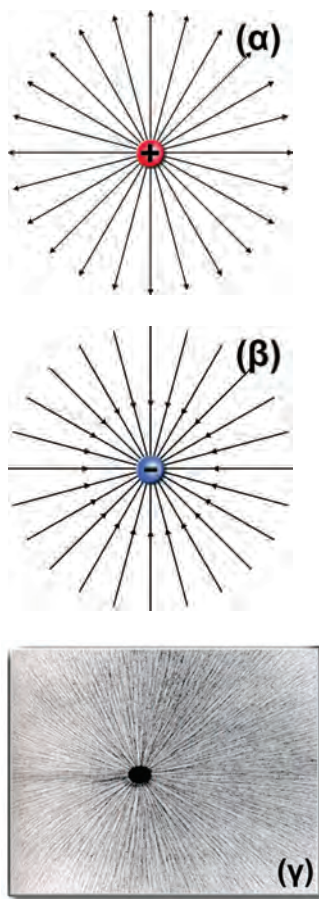
Φυσική και Βιολογία και Ιατρική



Γύρω από τους έμβιους οργανισμούς δημιουργούνται **ηλεκτρικά πεδία** που οφείλονται στη λειτουργία των μυών τους. Οι καρχάριες διαθέτουν κύτταρα ηλεκτρικά ευαίσθητα τα οποία τους δίνουν τη δυνατότητα να εντοπίζουν τα θύματά τους ανιχνεύοντας τα πολύ ασθενή πεδία τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΚΑΙ ΟΙ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΑΣΚΟΥΝ			
Πηγή ηλεκτρικού πεδίου	Δύναμη σε N που ασκείται σε φορτίο 1 C, N/C	Πηγή ηλεκτρικού πεδίου	Δύναμη σε N που ασκείται σε φορτίο 1 C, N/C
Ενδοαστρική ακτινοβολία	$3 \cdot 10^{-6}$	Ηλιακό φως	10^3
Ηλεκτρικά καλώδια σπιτιού	10^{-2}	Ατμόσφαιρα (καταιγίδα)	10^4
Ραδιοκύματα	10^{-1}	Μηχανή Van de Graaff	$2 \cdot 10^6$
Κέντρο ενός δωματίου	3	Ο αέρας γίνεται αγωγίμος	$3 \cdot 10^6$
Εσωτερικό λαμπτήρα φθορισμού	10	Σωλήνας παραγωγής ακτίνων X	$5 \cdot 10^6$
30 cm από ηλεκτρικό ρολόι	15	Κυτταρική μεμβράνη	10^7
30 cm από στερεοφωνικό	90	Εσωτερικό ατόμου υδρογόνου	$6 \cdot 10^{11}$
Δέσμη λέιζερ	10^2	Επιφάνεια ενός παλλόμενου αστέρα	10^{14}
Ατμόσφαιρα (καλοκαιρία)	150	Επιφάνεια πυρήνα ουρανίου	$2 \cdot 10^{21}$
30cm από ηλεκτρική κουβέρτα	250		



Εικόνα 1.39

Δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται από ένα σημειακό φορτίο (α) θετικό και (β) αρνητικό. Παρατήρησε ότι οι δυναμικές γραμμές ξεκινούν από τα θετικά φορτία και καταλήγουν στα αρνητικά. (γ) Οι δυναμικές γραμμές είναι δυνατόν να αισθητοποιηθούν με λεπτές μεταξωτές κλωστές τοποθετημένες μέσα σε καστορέλαιο.

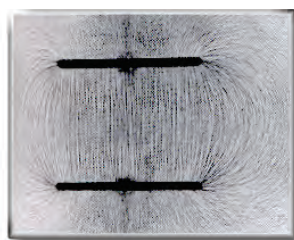
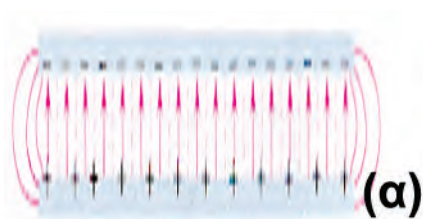
Ηλεκτρικές δυναμικές γραμμές

Η περιγραφή του ηλεκτρικού πεδίου στην εικόνα 1.38 είναι δύσκολη και δύσχρηστη. Ο Φαραντέι (Faraday) εισήγαγε έναν πιο εύκολο τρόπο περιγραφής του ηλεκτρικού πεδίου, μέσω των ηλεκτρικών δυναμικών γραμμών, ο οποίος χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα.

Μέσα στο ηλεκτρικό πεδίο ελαφρά αντικείμενα, για παράδειγμα λεπτές μεταξωτές κλωστές, διατάσσονται σε γραμμές κατά τη διεύθυνση της δύναμης που ασκείται πάνω τους (εικόνα 1.39γ). Όπου συγκεντρώνονται περισσότερες κλωστές, εκεί η ηλεκτρική δύναμη είναι ισχυρότερη και οι γραμμές είναι πυκνότερες. Επειδή αυτές οι γραμμές δείχνουν τη διεύθυνση και το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης, τις ονομάζουμε **δυναμικές γραμμές** του ηλεκτρικού πεδίου.

Όστε, αν γνωρίζουμε τη μορφή των δυναμικών γραμμών, μπορούμε να προσδιορίσουμε τη διεύθυνση της ηλεκτρικής δύναμης. Παρατηρώντας επίσης πόσο πυκνές ή αραιές είναι οι δυναμικές γραμμές μπορούμε να εκτιμήσουμε πόσο ισχυρή ή ασθενής είναι η ηλεκτρική δύναμη. Επομένως, για να προσδιορίσουμε την ηλεκτρική δύναμη, δεν είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε από ποιο σώμα ή από ποια σώματα ασκείται («πηγές του πεδίου»). Αρκεί να γνωρίζουμε τη μορφή των δυναμικών γραμμών, δηλαδή ποια είναι η διεύθυνσή τους και πόσο πυκνές είναι (εικόνα 1.39α, β).

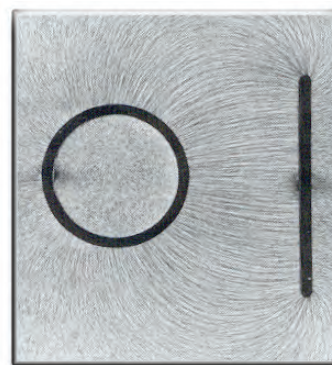
Στην εικόνα 1.40 παριστάνονται οι δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται στον χώρο μεταξύ δύο αντίθετα φορτισμένων παράλληλων μεταλλικών πλάκων. Ένα τέτοιο σύστημα ονομάζεται επίπεδος *πυκνωτής*. Παρατηρήστε ότι με εξαίρεση την περιοχή των άκρων οι δυναμικές γραμμές είναι ευθείες, παράλληλες και ισαπέχουσες. Ένα τέτοιο πεδίο έχει σταθερή ένταση και λέμε ότι είναι **ομογενές**. Το ομογενές πεδίο ασκεί την ίδια δύναμη σε ένα ηλεκτρικό φορτίο σε οποιοδήποτε σημείο του και αν το τοποθετήσουμε.



◀ **Εικόνα 1.40**
(α) Σχηματική αναπαράσταση των δυναμικών γραμμών του ηλεκτρικού πεδίου ενός επίπεδου πυκνωτή. (β) Αισθητοποίηση των δυναμικών γραμμών του ηλεκτρικού πεδίου επιπέδου πυκνωτή με τη βοήθεια λεπτών μεταξωτών κλωστών τοποθετημένων σε καστορέλαιο.

Ηλεκτρική θωράκιση

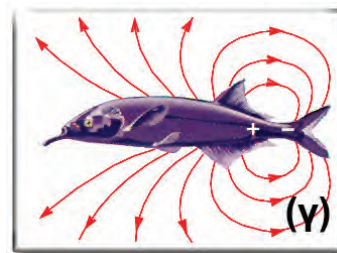
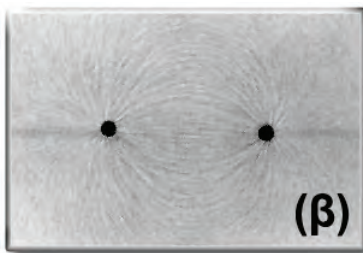
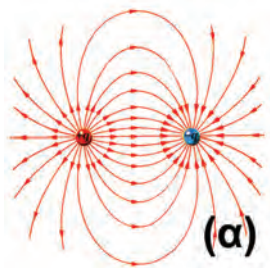
Στην εικόνα 1.41 παριστάνονται οι δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται στον χώρο μεταξύ μιας φορτισμένης πλάκας και ενός αντίθετα φορτισμένου μεταλλικού κυλίνδρου. Παρατηρήστε ότι στο εσωτερικό του μεταλλικού κυλίνδρου οι κλωστές δεν διατάσσονται, γεγονός που σημαίνει ότι δεν υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο. Αυτό συμβαίνει γενικά στο εσωτερικό των αγωγών. Λέμε ότι οι αγωγοί **θωρακίζουν** τον εσωτερικό τους χώρο από τα ηλεκτρικά πεδία που υπάρχουν στον εξωτερικό χώρο.



Εικόνα 1.41
Ηλεκτρική θωράκιση

Στο εσωτερικό του μεταλλικού κυλίνδρου δεν υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο.

Φυσική και Βιολογία



Δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται από δύο αντίθετα φορτία (κόκκινο και μπλε):

(α) Συμβολική αναπαράσταση.

(β) Αισθητοποίηση από μεταξωτές κλωστές σε καστορέλαιο.

(γ) Μερικά ζώα παράγουν ένα τέτοιο πεδίο ώστε μέσω αυτού να ανιχνεύουν κοντινά αντικείμενα.

Φυσική και καθημερινή ζωή και Τεχνολογία



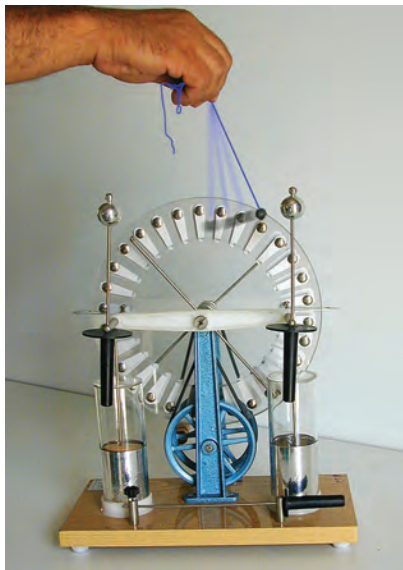
Κεραυνός και ηλεκτρική θωράκιση

Το αμάξιμο ενός αυτοκινήτου είναι μεταλλικό. Επομένως **θωρακίζει** το εσωτερικό του από τα εξωτερικά ηλεκτρικά πεδία. Έτσι όταν ένας κεραυνός πλήττει το αυτοκίνητο, ενώ στον εξωτερικό χώρο υπάρχει ένα ισχυρότατο ηλεκτρικό πεδίο, στον εσωτερικό δεν υπάρχει πεδίο, οπότε οι επιβάτες δεν κινδυνεύουν.

Σκέψου και σχεδίασε την αντιστοιχία του αυτοκινήτου με την εικόνα 1.41.

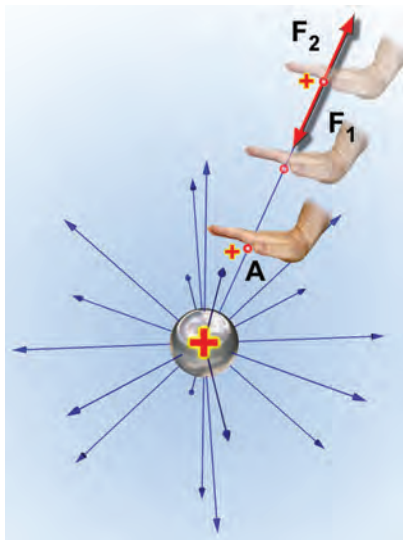
Εξήγησε αυτό που συμβαίνει.

Μπορείς να αναφέρεις άλλες εφαρμογές της ηλεκτρικής θωράκισης;



Εικόνα 1.42

Το φορτισμένο σφαιρίδιο βρίσκεται μέσα στο ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται μεταξύ των πόλων της ηλεκτροστατικής μηχανής Wimshurst. Το σφαιρίδιο κινείται κάτω από τη δράση της ηλεκτρικής δύναμης.



Εικόνα 1.43

Για να πλησιάσουμε το θετικά φορτισμένο σφαιρίδιο στην επίσης θετικά φορτισμένη σφαίρα, ασκούμε δύναμη F_1 ίση και αντίθετη της απωστικής δύναμης F_2 που ασκεί η σφαίρα στο σφαιρίδιο. (α) Η δύναμη F_1 παράγει έργο που είναι ίσο με τη δυναμική ηλεκτρική ενέργεια που έχει το σφαιρίδιο στη θέση Α. (β) Αν το σφαιρίδιο το τοποθετήσουμε στη σφαίρα, τότε αυξάνεται το φορτίο της σφαίρας καθώς και η δυναμική της ενέργεια.

Ηλεκτρικό πεδίο και ενέργεια

Θέτουμε σε λειτουργία μια ηλεκτροστατική μηχανή Wimshurst (μηχανή η οποία προμηθεύει ηλεκτρικά φορτία) οπότε οι δύο μεταλλικές σφαίρες (πόλοι) φορτίζονται και η μια αποκτά θετικό φορτίο, ενώ η άλλη αρνητικό. Πλησιάζουμε το θετικά φορτισμένο σφαιρίδιο ενός ηλεκτρικού εκκρεμούς στον επίσης θετικά φορτισμένο πόλο της μηχανής (εικόνα 1.42). Παρατηρούμε ότι κινείται από τον έναν πόλο της μηχανής προς τον άλλο.

Πώς θα μπορούσαμε να ερμηνεύσουμε αυτό το φαινόμενο χρησιμοποιώντας τις έννοιες της ενέργειας και του ηλεκτρικού πεδίου;

Μεταξύ των δύο πόλων της μηχανής Wimshurst δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο. Το φορτισμένο σφαιρίδιο του εκκρεμούς βρίσκεται μέσα σ' αυτό. Το ηλεκτρικό πεδίο ασκεί δύναμη στο φορτισμένο σφαιρίδιο. Το φορτισμένο σφαιρίδιο κινείται. Επομένως αποκτά κινητική ενέργεια.

Γνωρίζουμε όμως ότι η ενέργεια δεν παράγεται από το μηδέν, αλλά μετατρέπεται από τη μια μορφή στην άλλη.

Από ποια μορφή ενέργειας προέκυψε λοιπόν η κινητική ενέργεια του σφαιριδίου;

Αφού το φορτισμένο σφαιρίδιο βρίσκεται μέσα στο ηλεκτρικό πεδίο, ασκείται σ' αυτό ηλεκτρική δύναμη. Επομένως έχει δυναμική ενέργεια που την ονομάζουμε **ηλεκτρική δυναμική ενέργεια**. Ποια είναι όμως η προέλευση της ενέργειας του σφαιριδίου;

Ας θυμηθούμε ότι, για να ανυψώσουμε ένα σώμα στο βαρυτικό πεδίο της γης, ασκούμε δύναμη. Το έργο αυτής της δύναμης είναι ίσο με τη δυναμική ενέργεια που αποκτά το σώμα. Παρόμοια, για να πλησιάσουμε το φορτισμένο σφαιρίδιο στον όμοια φορτισμένο πόλο της μηχανής, απαιτείται να ασκήσουμε δύναμη. Το έργο αυτής της δύναμης είναι ίσο με την ηλεκτρική δυναμική ενέργεια που αποκτά το σφαιρίδιο σε κάποιο σημείο του πεδίου (εικόνα 1.43).

Ένα φορτισμένο σώμα δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο στον χώρο που το περιβάλλει. Για να φορτιστεί όμως το σώμα, θα πρέπει να μεταφερθεί σ' αυτό ορισμένη ποσότητα ηλεκτρικού φορτίου. Αν τρίψουμε ένα μπαλόνι με μάλλινο ύφασμα, τότε το μπαλόνι φορτίζεται αρνητικά λόγω της μεταφοράς ηλεκτρονίων από το ύφασμα. Τα ηλεκτρόνια όμως που μεταφέρονται αρχικά στο μπαλόνι ασκούν απωστικές δυνάμεις στα νέα ηλεκτρόνια που έρχονται να προστεθούν σ' αυτό. Για να υπερνικηθούν αυτές οι δυνάμεις, θα πρέπει να ασκηθούν στα ηλεκτρόνια και εξωτερικές δυνάμεις, για παράδειγμα μέσω της τριβής. Μέσω του έργου αυτών των δυνάμεων προσφέρεται ενέργεια στα ηλεκτρόνια.

Τι γίνεται αυτή η ενέργεια;

Αποθηκεύεται ως ηλεκτρική δυναμική ενέργεια στο φορτισμένο σώμα ή με άλλα λόγια στο ηλεκτρικό πεδίο που αυτό δημιουργεί.