

παράρτημα II:
αναφορά
στον μικρόκοσμο

Η επεξεργασία των μικρο-Προσεγγίσεων και των Ελεύθερων μικρο-Αναγνώσμάτων έγινε στο Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών, Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος του ΠΤΔΕ του Πανεπιστημίου Αθηνών (διευθυντής καθηγητής Γεώργιος Θεοφ. Καϊκάνης), με την ενεργό συμμετοχή της υποψ. δρ. Δέσποινας Ιμβριώτη.

ΜΙΚΡΟ-ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ

... τι;

Με τη φιλοδοξία και την ευχή –αλήθια και την αγωνία– μιας θετικής συμβολής μας στο πάντοτε επικίνδυνο –αλήθια και υπέροχο– εγχείρημα της εκπαιδευτικής διαδικασίας των φυσικών επιστημών (και) στην ύστερη πρωτοβάθμια εκπαίδευση, προτείνουμε και τη μικροσκοπική προσέγγιση, συμπληρωματικά της μακροσκοπικής (φαινομενολογικής και εργαστηριακής) προσέγγισης.

Με τον όρο μικροσκοπική προσέγγιση εννοούμε κάθε αναφορά και αξιοποίηση των (λίγων και απλών) δομών και διαδικασιών του μικρόκοσμου για την ερμηνεία και κατανόηση των (πολύπλοκων και πολύμορφων) φαινομένων του μακρόκοσμου.

(ΜικρόΚοσμο ονομάζουμε συμβατικά τα δομικά σωματίδια του Κόσμου μας που, εκφεύγοντας λόγω των μικροσκοπικών τους διαστάσεων της άμεσης παρατήρησης και εποπτείας μας, συγκροτούν τα μεγαλύτερα, απτά και μετρήσιμα σώματα και σχηματισμούς (και εμάς τους ίδιους!) που, επίσης συμβατικά, ονομάζουμε ΜακρόΚοσμο.)

Η συνεκτική και ενοποιητική αυτή θεώρηση του κόσμου μας από τη σημερινή Επιστήμη, με την αναφορά σε λίγες και απλές δομές που επιβάλλονται από μία και μοναδική αλληλεπίδραση / δύναμη και λειτουργούν κάτω από λίγες και απλές αρχές, είναι συμβατή με την ομορφιά του φυσικού μας Κόσμου. Αυτή η ομορφιά αποκαλύπτει την απλότητα της Δημιουργίας του αλήθια και τη σοφία της ευταξίας του. Αποκαλύπτει τη λειτουργία του.

*Ο δάσκαλος –ο κάθε δάσκαλος–
πρέπει να γνωρίζει και να κατανοεί
–πλήρως και σε βάθος– αυτά που διδάσκει.
Για να γνωρίζει και να κατανοεί
–πλήρως και σε βάθος– αυτά που διδάσκει,
πρέπει να γνωρίζει και να κατανοεί
περισσότερα από αυτά που διδάσκει...*

Η γνώση της λειτουργίας του Κόσμου μας είναι πρόκληση για όλους μας. Θα την κατακτήσουμε αν τη διδάξουμε –και τη διδαχθούμε– όπως ακριβώς είναι. Απλή και όμορφη. Όπως ο (μικρός και ΜΕΓΑΛΟΣ) Κόσμος μας...

... γιατί;

Η συνεκτικότητα και ενοποιητική θεώρηση της Επιστήμης, όμως, πρέπει να οδηγήσει στη συνεκτικότητα και στην ενοποιητική θεώρηση και της Εκπαίδευσης στις Φυσικές Επιστήμες. Για να είναι (και αυτή) απλή και ελκυστική.

Με τη –συνήθη για την πρωτοβάθμια εκπαίδευση– μακροσκοπική προσέγγιση, που περιορίζεται στην αισθητηριακή και εμπειρική περιγραφή των φυσικών φαινομένων ή / και στην εργαστηριακή επανάληψή τους (μόνο), ο εκπαιδευτικός διαπιστώνει απλώς και κωδικοποιεί.

Ο μαθητής, με τη σειρά του, αποκομίζει απλώς μια αποσπασματική γνώση, που είτε δυστυχώς είναι προσωρινή είτε μη αξιοποιήσιμη περαιτέρω.

Αντίθετα, (και) με τη μικροσκοπική προσέγγιση, συμπληρωματική της μακροσκοπικής (φαινομενολογικής και εργαστηριακής), είναι δυνατό ο δάσκαλος να οδηγήσει τον μαθητή σε μια συνεκτική άποψη για το μάθημα (και τον φυσικό κόσμο) αλήθια και σε μια ερμηνευτική (στο βαθμό που επιχειρείται) δυνατότητα που αποκαλύπτει και την απλότητα και την ομορφιά.

Αυτό επιτυγχάνεται με τη γνωριμία των λίγων και απλών μικροσκοπικών δομών και διαδικασιών (του μικροσκοπικού

μοντέλου) που ερμηνεύουν (αλλά και προβλέπουν!) όλη ή τα περισσότερα από τα –φαινομενικά ασύνδετα– φαινόμενα που περιέχονται στο αναλυτικό πρόγραμμα.

Αλλά και επιτυγχάνει την ανάδειξη και αξιοποίηση της γνώσης των διαδικασιών (πέραν της γνώσης των εννοιών και των ορισμών), αναπτύσσει την ικανότητα της σύνθεσης και της κρίσης (με τον χειρισμό του συγκεκριμένου μοντέλου), προσφέρει δε τη δυνατότητα της μεταφοράς και γενίκευσης της γνώσης και σε άλλα, καθημερινά και μη, φαινόμενα (με το ίδιο μοντέλο).

... πώς;

Αυτονόμη, βέβαια, προϋπόθεση είναι ότι το –σήμερα αποδεκτό– επιστημονικό πρότυπο ή μοντέλο του μικρόκοσμου θα –πρέπει να– παρουσιάζεται στους μαθητές στην απλούστερη δυνατή εκπαιδευτική προσέγγισή του, χωρίς όμως την υποκατάστασή του από υπεραπλουστευτικές ανακρίβειες, που συνήθως δημιουργούν εσφαλμένες αντιλήψεις, συχνά μη αναστρέψιμες στους μετέπειτα χρόνους. (Σημειώνεται εμφαντικά ότι είναι προτιμότεα, πάντοτε, η αναβολή και η σπειροειδής αντιμετώπιση, αντί μιας βεβιασμένης, αναποτελεσματικής και επιβλαβούς πρώιμης εμμονής μας...)

Απαραίτητη, επίσης, προϋπόθεση είναι ότι (και) αυτή η εκπαιδευτική προσέγγιση –πρέπει να– εντάσσεται στα βήματα της προτεινόμενης εκπαιδευτικής μεθοδολογίας. Έτσι μεγιστοποιούνται τα προαναφερθέντα αναμενόμενα αποτελέσματα της (μικρο-)προσέγγισης, αλλά και υποβοηθάται και βελτιστοποιείται η ίδια η εκπαιδευτική διαδικασία.

Όσον αφορά στην ένταξη και συμβολή της μικροσκοπικής προσέγγισης στην προτεινόμενη εκπαιδευτική μεθοδολογία (το ερευνητικά εξελισσόμενο εκπαιδευτικό πρότυπο ή μοντέλο), αυτή είναι δυνατό να διακριθεί σε όλη τα ακόλουθα βήματα:

- Προσφέρει ένα πρόσθετο έναυσμα του ενδιαφέροντος των μαθητών, αφού αναφέρεται στον άγνωστο στους «πολλούς», άρα μυστηριώδη και ελκυστικό, μικρόκοσμο.
- Εμπλουτίζει τον προβληματισμό τους και τη διατύπωση υποθέσεων, αφού η γνώση και η εν τω μεταξύ επαγωγική αξιοποίηση του μικροσκοπικού μοντέλου έχει δημιουργήσει μία βάση συνεκτικών ιδεών και τρόπου σκέψης.
- Βοηθά στην επιλογή του κατάλληλου πειραματισμού (στο εργαστήριο ή στο πεδίο), αφού έχει συνδέσει και συνδυάσει διαδικασίες και φαινόμενα που αλληλεπιδρούν και αλληλεξαρτώνται.
- Βελτιστοποιεί τη διατύπωση και την κατανόηση των συμπερασμάτων, αφού τα εντάσσει σε ένα γενικότερο μοντέλο λειτουργίας του κόσμου μας, που συγχρόνως το επιβεβαιώνει και το εμπλουτίζει «ανακαλυπτικά».
- Επιτυγχάνει τη μεταφορά και τη γενίκευση των συμπερασμάτων, αφού είναι δυνατό να εντάσσει και άλλα φαινόμενα της, καθημερινής ή μη, ζωής στο γενικότερο αυτό μοντέλο, να τα ερμηνεύει και να τα προβλέπει με βάση τις υποκρυπτόμενες αρχές και διαδικασίες, ικανοποιώντας και δικαιώνοντας έτσι το αρχικό –και εν δυνάμει ανανεούμενο– ενδιαφέρον των μαθητών.

(Πρέπει να επισημάνουμε ότι το ενδιαφέρον των σημερινών μαθητών –των ήδη ενήμερων των περισσότερων φαινομένων από τις τόσες ευκαιρίες παρατήρησης και πηγές πληροφορίας– δεν είναι πλήρως ή απαραίτητα εξασφαλισμένο,

αν η εκπαιδευτική διαδικασία των φυσικών επιστημών εξαπλώνεται με την απλή επανάληψη και κωδικοποίηση...)

... πότε;

Όσον αφορά στον χρονισμό της εφαρμογής της μικροσκοπικής προσέγγισης, όταν προκρίνεται η ένταξή της στην εκπαιδευτική διαδικασία, τότε προτείνεται να επιχειρείται η αξιοποίησή της σε όλη τα βήματα της μεθόδου ή τουλάχιστον σε όποια είναι δυνατό να επιχειρηθεί και να έχει θετική συμβολή παράλληλα με τη μακροσκοπική προσέγγιση. Αυτό αφορά στις περισσότερες θεματικές ενότητες και στα περισσότερα φαινόμενα.

Η ελάχιστη αξιοποίησή της είναι δυνατό να αφορά στην κατανόηση και ερμηνεία των συμπερασμάτων της μακροσκοπικής προσέγγισης ή / και στη γενίκευσή τους, οπότε και πρέπει να έπεται.

Είναι δυνατό επίσης να επιχειρείται η αξιοποίησή της όταν ολοκληρώνεται μια θεματική ενότητα ή κύκλος φαινομένων.

Σε κάθε περίπτωση, όμως, προτείνεται μια γενική παρουσίαση των βασικών δομών, αλληλεπιδράσεων και κινήσεων του μικρόκοσμου στην αρχή των μαθημάτων. Έτσι σταδιακά εμπλουτίζεται το μικροσκοπικό μοντέλο και χρησιμοποιείται επαγωγικά σε κάθε νέα θεματική ενότητα. Είναι δυνατό δε να παρουσιάζεται σε κάθε ενότητα και με τη δραματοποίηση βιωματικού παιχνιδιού (με όλες τις επιφυλάξεις που αφορούν στα βιωματικά παιχνίδια, στις υπερβολικές προσδοκίες που καλλιεργούν, αλλά και στις ενδεχόμενες εσφαλμένες αντιλήψεις που η άμεση χρήση τους είναι δυνατό να δημιουργήσει).

Όσον αφορά στην ηλικιακή παράμετρο του εκπαιδευτικού της στόχου, θεωρούμε ότι η μικροσκοπική προσέγγιση δεν είναι απαγορευτική –αντίθετα αποδεικνύεται εφικτή και αποτελεσματική– (ακόμα και) για τους μαθητές της ύστερης πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης.

Η αφαιρετική ικανότητα των τελευταίων, που αμφισβητείται από πολλούς, δεν τους εμποδίζει να φανταστούν, για παράδειγμα, το πλανητικό μας σύστημα όπως είναι (ηλιοκεντρικό) και όχι όπως φαίνεται (γεωκεντρικό) από τη γη μας. (Υπενθυμίζουμε ότι το πλανητικό μας σύστημα είναι γνωσιακό αντικείμενο που προτείνεται και από τα παλαιότερα αλλά και από τα ισχύοντα αναλυτικά προγράμματα, ακόμη και για μικρότερους μαθητές...)

Ούτε η αναπόφευκτη (και για τα παλαιότερα αλλά και για τα ισχύοντα αναλυτικά προγράμματα) αναφορά στα μόρια και στα άτομα, ακόμη και στα ηλεκτρόνια, με αποσπασματικό (έστω) και χρησιμοθηρικό (όπου «απαιτείται») τρόπο τους δημιουργεί προβλήματα.

Αντίθετα, οι αναφορές στα μικροσκοπικά άτομα και μόρια –είναι δυνατόν να– είναι όχι μόνο κατανοητές από τους μαθητές, αλλά και ενδιαφέρουσες και –γενικότερα– χρήσιμες. Κατά τη γνώμη μας όμως όχι, όπως παρουσιάζονται έως τώρα, εκλαμβανόμενες ως στεία και αποσπασματική γνώση, αλλά χρησιμοποιούμενες περαιτέρω για την κατανόηση και ερμηνεία των διαδικασιών που υποκρύπτονται σε όλη τα μακροσκοπικά φυσικά φαινόμενα.

Η καταγραφή της φαινομενολογίας αλλά και η εργαστηριακή επιβεβαίωση της (καλής) ηλεκτρικής και θερμικής αγωγιμότητας των μετάλλων, για παράδειγμα, περιορίζονται σε καταγραφές και διαπιστώσεις. Αντίθετα, η αναφορά στη «ροή» ελεύθερων ηλεκτρονίων (από σημεία υψηλότερου ηλεκτρι-

κού δυναμικού ή θερμοκρασίας σε σημεία χαμηλότερου ηλεκτρικού δυναμικού ή θερμοκρασίας, αντίστοιχα) ερμηνεύει τα φαινόμενα. (Με τις δυνατότητες μάλιστα των σύγχρονων τεχνολογιών πληροφορικής, αυτές οι διαδικασίες είναι δυνατό να αναπαράγονται / προσομοιώνονται και να οπτικοποιούνται στην οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή, προσφέροντας και τη δυνατότητα παρακολούθησής τους).

Η ίδια αναφορά στη «ροή» ελεύθερων ηλεκτρονίων στα μέταλλα (και στις δύο περιπτώσεις, της καλής ηλεκτρικής και θερμικής αγωγιμότητάς τους) ενοποιεί τη λειτουργία του φυσικού κόσμου (και) για τα δύο φαινόμενα και προσφέρει έναν κοινό «μηχανισμό» ή διαδικασία, μια κοινή ερμηνεία (και) για τα δύο (φαινomenικά ασύνδετα και διδασκόμενα σε διαφορετικά «κεφάλαια») φαινόμενα, αποκαλύπτοντας ένα κοινό επιστημονικό πρότυπο.

... ποιες;

Αναφέρθηκε ήδη ότι οι προτεινόμενες εκπαιδευτικές μικρο-προσεγγίσεις αφορούν στην απλούστερη δυνατή παρουσίαση και εκπαιδευτική αξιοποίηση του επιστημονικού προτύπου ή μοντέλου του μικρόκοσμου. Το ερώτημα είναι ποιες προσεγγίσεις προτείνονται και πώς οριοθετούνται.

Όσον αφορά στο επίπεδο των μικροπροσεγγίσεων, διακρίνουμε αυτές που απευθύνονται πρώτα στην / στον εκπαιδευτικό και, μέσω αυτής / αυτού, επεξεργασμένες στους μαθητές. Και αυτές που απευθύνονται κατ' ευθείαν στους μαθητές, ως «ελεύθερα μικρο-αναγνώσματα», αλλιώς η χρησιμοποίησή τους τίθεται στη διακριτική ευχέρεια και πάλη της / του εκπαιδευτικού.

Όσον αφορά στην έκταση και στο βάθος των μικροπροσεγγίσεων, αυτές περιορίζονται τόσο από τις ηλικιακές, γνωσιακές και άλλες παραμέτρους της εκπαιδευτικής διαδικασίας, όσο και από τις επιταγές του αναλυτικού προγράμματος. Σε κάθε περίπτωση όμως δεν υπερβαίνουν τις φιλοδοξίες του αναλυτικού προγράμματος.

Οι προτεινόμενες μικρο-προσεγγίσεις περιορίζονται επίσης:

- Ως προς τις μικρο-δομές: στα σωματίδια μόνο που προβλέπει το αναλυτικό πρόγραμμα. Έτσι ιδιαίτερη αναφορά γίνε-

ται στα μόρια των οποίων οι θέσεις, οι αλληλεπιδράσεις / δυνάμεις και οι κινήσεις επηρεάζουν άμεσα (αλλά και διαμορφώνουν) τα μεγαλύτερα σώματα και σχηματισμούς. Απλή μόνο αναφορά γίνεται στα άτομα που συγκροτούν τα μόρια, στους πυρήνες και στα ηλεκτρόνια που συγκροτούν τα άτομα, όπως και στα υποπυρηνικά σωματίδια (στοιχειώδη και μη), για να είναι συνεπής και κατανοητή στη συνέχεια η ιδιαίτερη αναφορά στα ηλεκτρόνια (όπως προβλέπεται από το αναλυτικό πρόγραμμα), που βέβαια είναι απαραίτητα για την ερμηνεία πολλών μακροσκοπικών ιδιοτήτων και φαινομένων (που επίσης προβλέπονται από το αναλυτικό πρόγραμμα).

- Ως προς τις μικρο-διαδικασίες: στις αλληλεπιδράσεις και στις κινήσεις των μορίων και των ηλεκτρονίων (μόνο) που εξηγούν τις δομές και τη συμπεριφορά των μεγαλύτερων σωμάτων και σχηματισμών.

- Ως προς τις φυσικές αρχές: στην αρχή της ελάχιστης ενέργειας και στην αρχή διατήρησης της ενέργειας (μόνο), για να γίνει η αξιοποίησή τους τόσο στον λόγο της συγκρότησης των μη στοιχειωδών σωματιδίων και σωμάτων, όσο και στις ενεργειακές μεταμορφώσεις. Επισήμανση γίνεται στο ότι πολλές μικροσκοπικές διαδικασίες απαιτούν για την κατανόησή τους αρχές της κβαντικής φυσικής και (προσοχή!) δεν πρέπει να επιχειρείται η ερμηνεία τους με πρότυπα της κλασικής φυσικής (όπως, για παράδειγμα, το ατομικό μοντέλο και τις κινήσεις των δέσμιων ηλεκτρονίων).

Αυτό όμως αποδεικνύει ότι (και) ο δάσκαλος της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης αντιμετωπίζει θέματα που άπτονται των σύγχρονων απόψεων της επιστήμης. Ευκαία είναι, γι' αυτό, η συνεχής του ενημέρωση και –κυρίως– η καλλιέργεια στους μαθητές του της αντίληψης μιας διαρκώς εξελισσόμενης επιστήμης...

- Ως προς τα φυσικά φαινόμενα, τέλος: σε αυτά που προβλέπονται από το αναλυτικό πρόγραμμα (μόνο), με εξαίρεση το φως, όπου ο δυϊσμός του (φωτόνια / ηλεκτρομαγνητικό κύμα) δεν είναι εφικτό να αντιμετωπισθεί μικροσκοπικά επί του παρόντος.

ο μικρό – Κόσμος

Οι (μικρο-)δομές, οι (μικρο-)αλληλεπιδράσεις και οι (μικρο-)κινήσεις του μικρόκοσμου είναι απλές και λίγες. Σε μια αδρή και απλοποιημένη περιγραφή τους, επικεντρώνοντας σε αυτές που κυρίως ενδιαφέρουν σε αυτήν την εκπαιδευτική βαθμίδα, είναι δυνατό να τις συνοψίσουμε ως εξής :

οι μικρο-δομές / τα σωματίδια

Ο φυσικός μας κόσμος συγκροτείται από σώματα που τα διακρίνουμε με βάση τις γνωστές φυσικές ιδιότητές τους σε στερεά, υγρά και αέρια (τα υγρά και τα αέρια τα ονομάζουμε και ρευστά σώματα).

Τα σώματα (στερεά, υγρά και αέρια) που μας περιβάλλουν είναι πειραματικά αποδεδειγμένο και επιστημονικά αποδεκτό ότι συγκροτούνται –όπως και εμείς οι ίδιοι ...– από μικρά, αόρατα σε εμάς, σωματίδια (τα σωματίδια ύλης), ότι έχουν δηλαδή δομή.

Τα μεγαλύτερα από αυτά τα σωματίδια, που τα ονομάζουμε μόρια, συγκροτούνται (και αυτά) από άλλα μικρότερα που τα ονομάζουμε άτομα...

Τα άτομα συγκροτούνται από άλλα μικρότερα, που ονομάζουμε πυρήνες και ηλεκτρόνια...

Οι πυρήνες συγκροτούνται από άλλα μικρότερα σωματίδια, τα πρωτόνια και τα νετρόνια...

Τα πρωτόνια και τα νετρόνια συγκροτούνται από άλλα σωματίδια, τα quarks.

(Εξ αυτών μόνο τα ηλεκτρόνια και τα quarks θεωρούνται, σήμερα!, στοιχειώδη, χωρίς δηλαδή περαιτέρω δομή.)

Αυτός είναι ο μικρόκοσμος...

(Συνηθίζουμε την απεικόνιση των σωματιδίων του μικρόκοσμου –αλλά και των σωμάτων του μακρόκοσμου– με σαφές περίγραμμα, εν είδει «μεμβράνης», που τα περιβάλλει. Η δο-

μή τους όμως από άλλα μικρότερα, χωρίς την ύπαρξη κάποιου κελύφους, δε δικαιολογεί οποιοδήποτε περίγραμμα, παρ'όλο που για συμβολιστικούς λόγους, που συχνά όμως δημιουργούν εσφαλμένες αντιλήψεις.)

Ένα πρωταρχικό ερώτημα: πώς γνωρίζουμε ότι τα σώματα συγκροτούνται από μικρότερα σωματίδια; Υποθέσεις όπως αυτή του Δημόκριτου, ότι δηλαδή τα σώματα αποτελούνται από διάφορους συνδυασμούς αδιαίρετων «α-τόμων», ελέγχθηκαν πειραματικά και επιβεβαιώθηκαν ως θεωρία. Η γνώση της δομής του μικρόκοσμου μας επιτρέπει να διαμορφώσουμε ένα μικροσκοπικό μοντέλο επιτυχούς ερμηνείας πολλών φυσικών φαινομένων κατά την εκπαιδευτική διαδικασία, όπως του φαινομένου της οσμής διάφορων σωμάτων (βλ. Ελεύθερο μικρο-Ανάγνωσμα για τον Μικρόκοσμο), που εμμέσως επιβεβαιώνει το μοντέλο στα πλαίσια της εκπαιδευτικής προσέγγισής του.

οι μικρο-αλληλεπιδράσεις

Όλα τα σωματίδια του μικρόκοσμου που συγκροτούν τα διάφορα σώματα αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, ασκούν ελκτικές και απωστικές δυνάμεις το ένα στο άλλο. Αυτές οι δυνάμεις τα «δεσμεύουν» μεταξύ τους, ώστε να σχηματίζουν μεγαλύτερες ομάδες σωματιδίων και, τελικά, τα διάφορα σώματα.

Στη φύση έχουν εντοπισθεί τέσσερις θεμελιώδεις δυνάμεις:

- οι βαρυτικές, που ασκούνται μεταξύ σωμάτων που έχουν μάζα και είναι πάντοτε ελκτικές,
- οι ηλεκτρο-μαγνητικές, που ασκούνται μεταξύ σωμάτων που έχουν ηλεκτρικά φορτία (ακίνητα ή / και κινούμενα αντίστοιχα), είναι δε ήλιότε ελκτικές και ήλιότε απωστικές,
- οι ασθενείς και
- οι ισχυρές

Οι δύο τελευταίες δυνάμεις επικρατούν των άλλων σε πολύ μικρές αποστάσεις, στο εσωτερικό των πυρήνων (γι' αυτό ονομάζονται και πυρηνικές δυνάμεις), ενώ είναι αμελητέες σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Έτσι, δε συμμετέχουν άμεσα στα φαινόμενα που εξετάζονται σε αυτήν την εκπαιδευτική βαθμίδα και δε θα μας απασχολήσουν περαιτέρω. Οι ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις εμφανίζονται με δύο εκφάνσεις, ως ηλεκτρικές και ως μαγνητικές, έχουν όμως και οι δύο κοινή «πηγή» το ηλεκτρικό φορτίο. (Σύμφωνα με τις θεωρίες Μεγάλης Ενοποίησης της σύγχρονης φυσικής, οι τέσσερις δυνάμεις είναι εκφάνσεις της μίας και μοναδικής, ενοποιημένης δύναμης των πρώτων στιγμών της δημιουργίας του κόσμου μας μετά τη Μεγάλη Έκρηξη).

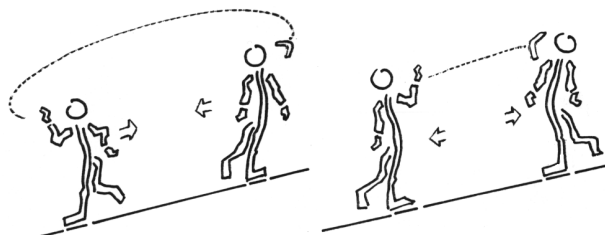
Πρέπει να τονίσουμε ότι οι αλληλεπιδράσεις ή οι δυνάμεις μεταξύ των σωματιδίων είναι οι ίδιες με αυτές μεταξύ των μεγαλύτερων σωμάτων. Πάντοτε δε ασκούνται από απόσταση. Δημιουργείται έτσι ένας χώρος (ένα πεδίο δυνάμεων, όπως το ονομάζουμε) μέσα στον οποίο ασκούνται οι δυνάμεις μεταξύ των σωμάτων ή σωματιδίων.

Ακόμη και στην περίπτωση των σωμάτων του μακρόκοσμου, όπου κάποια θεωρούμε ότι έρχονται σε «επαφή», τα μόριά τους εξακολουθούν και τότε να απέχουν μεταξύ τους, οι δε δυνάμεις που διαπιστώνουμε δεν είναι ήλιες από τις δυνάμεις από απόσταση μεταξύ των μορίων τους.

Τα μόρια των σωμάτων βρίσκονται πάντοτε σε απόσταση μεταξύ τους. Στον μικρόκοσμο δεν έχει έννοια ο όρος «επαφή»...

Το ερώτημα: πώς τα μόρια που συγκροτούν τα διάφορα σώματα δεν έρχονται ποτέ σε επαφή μεταξύ τους θα απαντηθεί στην παράγραφο που αφορά στα μόρια, αλλ'όχι και στο Ελεύθερο μικρο-Ανάγνωσμα για τα Στερεά, Υγρά και Αέρια.

Ένα ακόμα ερώτημα: πώς ασκούνται δυνάμεις από απόσταση μεταξύ των σωματιδίων; Εμπειρικά αυτό είναι αποδεκτό, αφού τέτοιες είναι οι δυνάμεις βαρύτητας της Γης που βιώνουμε καθημερινά, αλλ'όχι και υποχρεώνουν σε τροχιά τη Σελήνη γύρω από τη Γη. Θεωρητικά προβλέπεται (για όλες τις δυνάμεις) και πειραματικά έχει αποδειχθεί (εκτός της βαρυτικής) η ύπαρξη σωματιδίων (των σωματιδίων πεδίου ή σωματιδίων φορέων, όπως τα ονομάζουμε) που ανταλλάσσονται μεταξύ των σωματιδίων ή / και των σωμάτων της ύλης, μεταφέροντας έτσι το «μήνυμα» (αλλ'όχι και τη «δράση») των δυνάμεων! (Για τις ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις σωματίδια πεδίου είναι τα γνωστά μας φωτόνια.) Η κατανόηση αυτού του μηχανισμού απαιτεί τη συνδρομή κβαντικών αρχών (που εκφεύγουν των ορίων του παρόντος), είναι όμως δυνατό να τον φαντασθούμε «ανάλογο» του μηχανισμού του μπουμπρανγκ που εκσφενδονίζει ο ένας παγοδρόμος στον ήλιο, με αποτέλεσμα να πλησιάζουν ή να απομακρύνονται χωρίς οι ίδιοι να έρχονται σε «επαφή».



οι μικρο-κινήσεις

Όλα τα σωματίδια του μικρόκοσμου κινούνται συνεχώς.

Τα quarks, τα πρωτόνια και νετρόνια, οι πυρήνες και τα ηλεκτρόνια, τα άτομα, τα μόρια κινούνται συνεχώς (και με μεγάλες ταχύτητες) συγκροτώντας μεγαλύτερους σχηματισμούς. Πολλοί έχουν μιλήσει για τον χορό του μικρόκοσμου... (Συγκριτικά ο μακρόκοσμος δε φαίνεται να ακολουθεί με τους ίδιους ρυθμούς.)

Η κίνηση αυτή των σωματιδίων οφείλεται στην (κινητική) ενέργεια που έχουν από τη Μεγάλη Έκρηξη, τη στιγμή της δημιουργίας του σύμπαντος (όταν ένα μέρος μιας τρομακτικά μεγάλης ποσότητας ενέργειας μεταμορφώθηκε σε μάζα, ενώ η υπόλοιπη ενέργεια «κινεί» έως σήμερα το σύμπαν μας). Σύμφωνα με μία θεμελιώδη αρχή του φυσικού μας κόσμου (την αρχή της διατήρησης της ενέργειας), η ενέργεια μεταμορφώνεται ή / και μετακινείται συνεχώς, χωρίς να δημιουργείται ή να εξαφανίζεται, δηλαδή διατηρείται.

Η κίνηση των σωματιδίων χαρακτηρίζεται ως άτακτη, αφού γίνεται ισοπίθανα προς όλες τις κατευθύνσεις. Είτε τα διάφορα σωματίδια είναι εγκλωβισμένα, συγκροτώντας μεγαλύτερα σωματίδια, σώματα ή σχηματισμούς, είτε μετακινούνται ελεύθερα.

Ειδικά, οι συνεχείς και άτακτες κινήσεις των σωματιδίων (και μόνο αυτές) χαρακτηρίζονται ως θερμικές κινήσεις, αφού μακροσκοπικά αποδίδονται από το φυσικό μέγεθος θερμοκρασία (βλ. Παράγραφο και Ελεύθερο μικρο-Ανάγνωσμα για τη θερμοκρασία και τη θερμότητα). Τη θερμοκρασία των σωμάτων διαμορφώνουν, κυρίως, οι θερμικές κινήσεις των μορίων.

Εκτός αυτών των κινήσεων, όμως, τα μόρια είναι δυνατό να μετέχουν και σε άλλες. Όπως αυτές που δημιουργούν τα μηχανικά (ηχητικά κ.ά.) κύματα ή αυτές που κάνουν μεταφερόμενα ελεύθερα ή αυτές που κάνουν τα σώματα τα οποία συγκροτούν.

Ένα ερώτημα: σταματά ποτέ αυτή η θερμική κίνηση των σωματιδίων; Αν αρχίσουμε να μειώνουμε τη θερμοκρασία

ενός σώματος, στην πραγματικότητα μειώνουμε την κινητική ενέργεια των σωματιδίων που το συγκροτούν. Επειδή αυτή εξαρτάται από την ταχύτητά τους, αυτό σημαίνει ότι μειώνουμε την ταχύτητά τους. Με αυτές τις σκέψεις υποθέτουμε ότι θα πρέπει σε κάποια χαμηλή θερμοκρασία του σώματος να ακινητήσουν τα μόριά του (έχει μάλιστα υπολογιστεί θεωρητικά αυτή η θερμοκρασία: -273°C , που ονομάζουμε απόλυτο μηδέν). Τέτοια χαμηλή θερμοκρασία δεν έχουμε επιτύχει στην πράξη, έτσι αυτό το ενδεχόμενο αποτελεί απλώς μια υπόθεση, χωρίς πειραματική επιβεβαίωση, αλλά και χωρίς τη συνηγορία της κβαντικής φυσικής, με την αρχή της αβεβαιότητας της οποίας έρχεται σε αντίφαση.

τα Άτομα – τα Μόρια

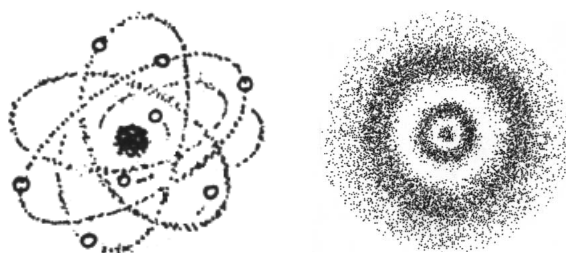
Ας μάθουμε περισσότερα όμως για τα σωματίδια που συγκροτούν τα σώματα (κυρίως τα άτομα και τα μόρια, αλλά και τα ηλεκτρόνια), τις αλληλεπιδράσεις τους και τις κινήσεις τους.

τα άτομα

Το άτομο συγκροτείται από τον πυρήνα και ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια, σωματίδια πολύ «ηλεκτών» διαστάσεων και με πολύ μικρή μάζα, «στροβιλίζονται» συνήθως γύρω από τους (πολύ μεγαλύτερους και βαρύτερους) πυρήνες των ατόμων. Είναι δέσμια από τους πυρήνες με ηλεκτρικές ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις. Αυτές οφείλονται στο ότι τα πρωτόνια των πυρήνων έχουν θετικό ηλεκτρικό φορτίο, ενώ τα ηλεκτρόνια έχουν αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο (βλ. Παράγραφο για τις μικρο-Αλληλεπιδράσεις και Ελεύθερο μικρο-Ανάγνωσμα για τον Ηλεκτρισμό).

Ένα ερώτημα: πώς συμβαίνει τα ηλεκτρόνια να μην πέφτουν επάνω στους πυρήνες, αφού έλκονται από αυτούς; Συνήθως για την απάντηση γίνεται επίκληση ενός κλασικού αναλόγου: του αναλόγου Γης – Σελήνης. Αν σε ένα σώμα το οποίο κινείται ασκήσουμε μία δύναμη κάθετα στη διεύθυνση της κίνησής του, αυτό δε θα κινηθεί προς εμάς, αλλά θα αρχίσει να περιφέρεται γύρω από εμάς (δοκιμάστε το με ένα κινούμενο αυτοκινητάκι). Για τον λόγο αυτό η Σελήνη δεν πέφτει επάνω στη Γη ή η Γη επάνω στον Ήλιο. Αυτό το κλασικό, όμως, μοντέλο δε συνιστάται να χρησιμοποιηθεί και στην περίπτωση των ηλεκτρονίων – πυρήνα, η οποία επιπλέον στην προαναφερθείσα αρχή της αβεβαιότητας (που θα αναφερθεί, αν τα ταχύτατα κινούμενα ηλεκτρόνια εντοπίζονταν στον μικρό όγκο του πυρήνα).

Η παρατήρηση και μελέτη των ηλεκτρονίων που κινούνται ταχύτατα γύρω από τους πυρήνες δεν είναι δυνατό να είναι λεπτομερειακή και σαφής, σύμφωνα με την προαναφερθείσα αρχή, ούτε βέβαια η απεικόνισή τους εντοπισμένη και περιγεγραμμένη, εν είδει σφαιριδίου... Γι' αυτό η κλασική εικόνα του ατόμου, με τις σαφείς τροχιές και θέσεις των ηλεκτρονίων, έχει αντικατασταθεί από την εικόνα με τις διάστικτες περιοχές που αντιστοιχούν στις πιθανές θέσεις του/των ηλεκτρονίου/ων...



Όσον αφορά στις διαστάσεις τους, αν λάβουμε συγκριτικά υπόψη μας τις διαστάσεις των ατόμων, των πυρήνων και των ηλεκτρονίων, θα μπορούσαμε να φανταστούμε αναλογικά τον πυρήνα ως μπάλα ποδοσφαίρου στο κέντρο ενός γηπέδου που αντιστοιχεί στο άτομο, ενώ το κάθε ηλεκτρόνιο ως κόκκο άμμου να κινείται στην περιοχή των κερκίδων... (Η ερμηνεία αυτών των αναλογιών ανάγεται και πάλι στην προαναφερθείσα αρχή της αβεβαιότητας.)

Τονίζουμε βέβαια ότι ο χώρος μεταξύ των διάφορων σωματιδίων του μικρόκοσμου είναι κενός.

Τα άτομα, που όπως περιγράψαμε συγκροτούνται από τον πυρήνα τους και τα ηλεκτρόνια, εμφανίζονται με 118 διαφορετικές μορφές ανάλογα με τον πυρήνα και τον συνήθη αριθμό των ηλεκτρονίων τους. Ο αριθμός των ηλεκτρονίων τους είναι, συνήθως, ίσος με τον αριθμό των πρωτονίων των πυρήνων. Έτσι, συνήθως, τα άτομα εμφανίζονται ηλεκτρικά ουδέτερα.

Γι' αυτό τα σώματα του φυσικού μας κόσμου είναι, συνήθως, ηλεκτρικά ουδέτερα, αφού τα άτομα που τα συγκροτούν είναι ουδέτερα.

Πολλές φορές, όμως, ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια μερικών ατόμων «ξεφεύγουν» από τις ηλεκτρικές δυνάμεις των πυρήνων και από «δέσμια» γίνονται «ελεύθερα». Τα άτομα αυτά έχουν πλέον θετικό ηλεκτρικό φορτίο και ονομάζονται θετικά ιόντα, αντίστοιχα και τα μόρια που συγκροτούν. Τα ηλεκτρόνια κατά τη διάρκεια της ελευθερίας τους κινούνται ανάμεσα στα άτομα και μόρια, έως ότου «συλληφθούν» και πάλι από το ίδιο ή κάποιο άλλο θετικό ιόν.

Σημειώνουμε εδώ ότι στα σώματα που ονομάζουμε μέταλλα, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια είναι πολύ περισσότερα

και κινούνται με μεγαλύτερη ευκολία μεταξύ των θετικών ιόντων σε σύγκριση με τα μη μέταλλα (εκτός του γραφίτη).

Πόσο σημαντικές είναι αυτές οι κινήσεις των ελεύθερων ηλεκτρονίων για τη ζωή μας; Πολύ σημαντικές. Αυτές οι κινήσεις προσδίδουν, για παράδειγμα, στα μέταλλα τις καλές ηλεκτρικές τους και θερμικές τους ιδιότητες. (Πράγματι, η καλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα των μετάλλων (καλοί αγωγοί του ηλεκτρικού ρεύματος και της θερμότητας) οφείλονται ακριβώς στη δυνατότητα των μετάλλων να έχουν πολλά ελεύθερα ηλεκτρόνια και, ακόμη, στην ευκολία με την οποία αυτά κινούνται στο εσωτερικό τους.)

τα μόρια

Τα μόρια συγκροτούνται από δύο ή περισσότερα άτομα, που αυτοδεσμεύονται (το ένα από το άλλο) και ακολουθούν πλέον το ένα το άλλο (ή τα άλλα). Συγκροτούν, δηλαδή, μια «ομάδα» ατόμων, που ονομάζουμε μόριο.

Ένα πρώτο ερώτημα: όλα τα άτομα «δεσμεύονται» με άλλα και συγκροτούν μόρια; Όχι όλα. Κάποια παραμένουν «μοναχικά», αλλά και αυτά συνηθίζουμε να τα ονομάζουμε για ευκολία «μονοατομικά» μόρια (συχνά αυτό θα το κάνουμε και στη συνέχεια).

Ένα δεύτερο ερώτημα: μόνο όμοια άτομα συγκροτούν μόρια; Όχι. Όμοια άτομα συγκροτούν μόρια, που με τη σειρά τους συγκροτούν μεγαλύτερα σώματα, που ονομάζονται χημικά στοιχεία (υπάρχουν 118 διαφορετικά στοιχεία στη φύση, όσα και τα διαφορετικά άτομα). Ανόμοια άτομα συγκροτούν μόρια, που με τη σειρά τους συγκροτούν μεγαλύτερα σώματα, που ονομάζονται και χημικές ενώσεις (υπάρχουν πάρα πολλές διαφορετικές χημικές ενώσεις στη φύση, αφού τα ανόμοια άτομα είναι δυνατό να δημιουργήσουν πολλούς συνδυασμούς).

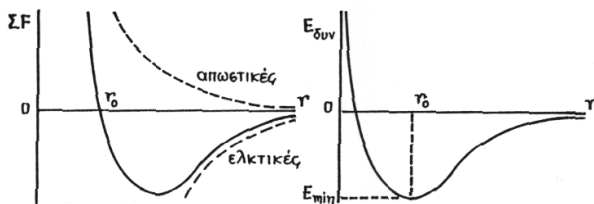
Ένα τρίτο ερώτημα: ποιες είναι συνήθως οι αποστάσεις μεταξύ των ατόμων ενός μορίου; Είναι μεγάλες σε σχέση με τις διαστάσεις των ατόμων. Είναι δεκάδες ή και εκατοντάδες φορές μεγαλύτερες και τα μόρια συνήθως καταλαμβάνουν χώρο πολύ μεγαλύτερο των χώρων που καταλαμβάνουν τα άτομα που τα συγκροτούν.

Ένα τέταρτο ερώτημα: τα μόρια είναι ηλεκτρικά ουδέτερα ή είναι ηλεκτρικά φορτισμένα; Αυτό εξαρτάται από τα άτομά τους. Συνήθως είναι ουδέτερα, αφού συνήθως και τα άτομα είναι ουδέτερα. Αν κάποιο από τα άτομα ενός μορίου γίνει προσωρινά θετικό ιόν, χάνοντας ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια, τότε και το μόριο είναι προσωρινά θετικά φορτισμένο. Τα περισσότερα, όμως, μόρια, όπως και τα άτομα, είναι ηλεκτρικά ουδέτερα.

Η προηγούμενη απάντηση προκαλεί ένα νέο ερώτημα: με τι είδους δυνάμεις αλληλεπιδρούν τα άτομα, ώστε να αυτοδεσμεύονται και να συγκροτούν μόρια; Με ηλεκτρομαγνητικές βέβαια δυνάμεις, αφού τα άτομα συγκροτούνται από θετικούς πυρήνες και αρνητικά ηλεκτρόνια. Όταν δύο ή περισσότερα άτομα πλησιάσουν (για κάποιο λόγο ή τυχαία) μεταξύ τους, ο πυρήνας καθενός ατόμου ασκεί ηλεκτικές δυνάμεις όχι μόνο στα δικά του ηλεκτρόνια, αλλά και στα ηλεκτρόνια των άλλων ατόμων. Ο ίδιος πυρήνας ασκεί

επίσης απωστικές δυνάμεις στους πυρήνες των άλλων ατόμων. Το ίδιο συμβαίνει και με τους πυρήνες των άλλων ατόμων. Οι ηλεκτικές δυνάμεις πλησιάζουν τότε τα άτομα μεταξύ τους. Όταν πλησιάσουν όμως αρκετά, οι απωστικές δυνάμεις τα εμποδίζουν να πλησιάσουν περισσότερο. Γι' αυτό τα άτομα παραμένουν σε τέτοιες μεταξύ τους αποστάσεις (r_0), όπου έχουμε ισοδυναμία ($\Sigma F = 0$). Έτσι εξηγείται γιατί τα άτομα δεν απομακρύνονται αλλήλα και ούτε «έρχονται σε επαφή» το ένα με το άλλο. Εξάλλου θα παραβιαζόταν μια άλλη αρχή, που απαγορεύει τη συνύπαρξη των ηλεκτρονίων τους.

Έχουμε και μια ακόμα εξήγηση της συγκεκριμένης κίνησης των ατόμων σε αποστάσεις μεταξύ τους. Σε αυτές τις αποστάσεις, όπου δηλαδή οι ηλεκτικές και οι απωστικές δυνάμεις αλληλεποαιρούνται, η δυναμική ενέργεια (βλ. Παράγραφο για την Ενέργεια) των ατόμων είναι η ελάχιστη. Τονίζουμε στο σημείο αυτό ότι η φύση «προτιμά» τις καταστάσεις όπου η δυναμική ενέργεια των συστημάτων της είναι η ελάχιστη δυνατή, σύμφωνα με τη σχετική αρχή της.



Και τα μόρια, όπως και τα άτομα, οι πυρήνες και τα ηλεκτρόνια, κινούνται συνεχώς.

Μπορούμε να φανταστούμε πώς κινούνται τα δέσmia άτομα στο «εσωτερικό» των μορίων; Πολλοί τα φαντάζονται να «ταλαντώνονται» γύρω από τις θέσεις ισοδυναμίας. Δεν πρόκειται όμως ακριβώς για ταλάντωση. Πιο κοντά στην πραγματικότητα θα είμαστε, αν κάθε άτομο το φαντασθούμε σαν μικρή σφαίρα που «χοροπηδά» (ανακλάται, ακριβέστερα) συνεχώς στο εσωτερικό τοίχωμα μιας μεγαλύτερης σφαίρας. Τέτοια σφαίρα φυσικά δεν υπάρχει. Πρόκειται για πεδίο δυνάμεων που «δημιουργείται» από τις δυνάμεις που ασκούν τα άλλα άτομα του μορίου. Τα άτομα υποχρεώνονται σε αυτήν την κίνηση από τις ηλεκτικές και απωστικές δυνάμεις που τους ασκούν τα άλλα γειτονικά τους άτομα του μορίου. Οι δυνάμεις αυτές τα αναγκάζουν να αλλιάζουν την τροχιά της κίνησής τους. Αυτήν την αλλαγή της κατεύθυνσης κίνησης των μορίων αποδίδουν πολλοί σε «συγκρούσεις» των μορίων, όμως ο όρος αυτός είναι δυνατό να δημιουργήσει εσφαλμένη αντίληψη για τον μικρόκοσμο. Πρόκειται απλώς για αλλαγή της κατεύθυνσης κίνησης χωρίς «επαφή» ή «σύγκρουση». Υπενθυμίζουμε ότι την κίνησή τους τη συντηρεί η κινητική τους ενέργεια. Γίνεται συνεχώς και με τυχαίο τρόπο προς όλες τις κατευθύνσεις. (Σημειώνουμε ότι, αν δεν ασκούσαν ηλεκτρομαγνητικές ή βαρυτικές δυνάμεις σε ένα σωματίδιο, τότε αυτό θα εκινείτο ευθύγραμμα και ομαλά, λόγω της αρχικής κινητικής του ενέργειας, που έχει από τη στιγμή της δημιουργίας του σύμπαντος).

Τα ίδια σώματα που συγκροτούν τον φυσικό μας κόσμο, είναι δυνατό σε διαφορετικές συνθήκες, να εμφανισθούν μακροσκοπικά σε τρεις φυσικές καταστάσεις: στερεή ↔ υγρή ↔ αέρια. Οι φυσικές καταστάσεις ενός σώματος είναι βέβαια διαφορετικές, όμως πρόκειται πάντοτε για τα ίδια μόρια που κινούνται διαφορετικά σε κάθε περίπτωση.

τα στερεά σώματα

Τα μόρια συγκροτούν στερεά σώματα όταν αυτοδεσμεύονται, «παγιδεύονται» σε σταθερές ή μόνιμες μεταξύ τους θέσεις. Διευκρινίζουμε ότι τις θέσεις αυτές τις χαρακτηρίζουμε σταθερές, αν και τα μόρια δεν παραμένουν ακίνητα σε αυτές λόγω της κινητικής τους ενέργειας, που τα υποχρεώνει στις γνωστές μας άτακτες (ή θερμικές) μικροκινήσεις τους. Παρ' όλης όμως τις μικροκινήσεις τους, οι ελκτικές και απωστικές ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις, με τις οποίες τα δεσμευμένα μόρια αλληλεπιδρούν, δεν τους επιτρέπουν να εγκαταλείψουν αυτές τις θέσεις. Σε αυτές τις θέσεις οι μεταξύ τους ελκτικές και απωστικές δυνάμεις από απόσταση είναι ίσες (θέσεις ισοδυναμίας). Κάθε απομάκρυνσή τους από αυτές (λόγω των θερμικών τους κινήσεων) καθιστά τις ελκτικές και απωστικές δυνάμεις άνισες. Η συνισταμένη τους τείνει τότε να επαναφέρει τα μόρια στις θέσεις ισοδυναμίας. Κινούνται, επομένως, συνεχώς σε καθορισμένες περιοχές, γύρω από τις θέσεις ισοδυναμίας. Έτσι συγκροτούνται τα σώματα που ονομάζουμε στερεά σώματα, σώματα δηλαδή με σταθερό όγκο και σχήμα (βλ. και Ελεύθερο μικρο-Ανάγνωση για τα Στερεά, Υγρά και Αέρια). (Κάποιες από τις θέσεις ισοδυναμίας παραμένουν κενές σε μερικά στερεά σώματα. Πρόκειται για ατέλειες στη δομή των στερεών σωμάτων, στις οποίες μάλιστα οφείλεται και η (αυξημένη σε σχέση με τα αντίστοιχα υγρά) δυνατότητα συμπίεσής τους. Κατά τη συμπίεση ενός στερεού σώματος καλύπτονται οι κενές θέσεις (ατέλειες της δομής) με γειτονικά μόρια και οι θέσεις των γειτονικών με άλλα, με αποτέλεσμα αυτά τα κενά να μετατοπίζονται προς το εξωτερικό του σώματος και επομένως ο όγκος του να μειώνεται.)

Το αυτονόητο ερώτημα: πώς συμβαίνει ηλεκτρικά ουδέτερα σωματίδια, όπως είναι τα περισσότερα μόρια, να αλληλεπιδρούν με ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις; (Θυμίζουμε ότι σε αυτές τις αποστάσεις οι πυρηνικές και οι βαρυτικές δυνάμεις είναι αμελητέες). Η εξήγηση είναι αντίστοιχη με αυτήν που δώσαμε για τα άτομα που συγκροτούν μόρια (βλ. Παράγραφο για τα Μόρια).

Έχουμε και μια ακόμα εξήγηση της «παγίδευσης» των μορίων των στερεών σωμάτων σε σταθερές μεταξύ τους αποστάσεις, αντίστοιχη και αυτή με την ερμηνεία της κίνησης των ατόμων. Στις θέσεις ισοδυναμίας, στις θέσεις δηλαδή όπου οι ελκτικές και οι απωστικές δυνάμεις μεταξύ των μορίων αλληλοαναιρούνται, η δυναμική ενέργεια των μορίων είναι η ελάχιστη. Όπως έχουμε δε τονίσει ήδη, η φύση «προτιμά» τις καταστάσεις όπου η δυναμική ενέργεια των συστημάτων της είναι η ελάχιστη δυνατή. Αυτός είναι εξάλλου ο λόγος που μόρια συγκροτούν στερεά σώματα και δεν παραμένουν, απαραίτητα, «μοναχικά», όπως στα αέρια.

Το αναπόφευκτο ερώτημα: πώς κινούνται τα μόρια που συγκροτούν στερεά σώματα; Πολλοί τα φαντάζονται να «ταλαντώνονται» γύρω από τις θέσεις ισοδυναμίας. Δεν πρόκειται όμως ακριβώς για ταλάντωση. Όπως και για την περίπτωση των δέσμιων ατόμων που συγκροτούν μόρια, πρέπει να τα φανταστούμε σαν μικρές σφαίρες που «χοροπηδούν» (ή ανακλίνονται, ακριβέστερα) συνεχώς στο εσωτερικό τοίχωμα μεγαλύτερων σφαιρών που περιβάλλουν τις θέσεις ισοδυναμίας και «δημιουργούνται» από τις μεταξύ των μορίων ελκτικές και απωστικές δυνάμεις. (βλ. Παράγραφο για τα Μόρια).

τα υγρά σώματα

Τα μόρια των σωμάτων που ονομάζουμε υγρά κινούνται το ένα κοντά στο άλλο, αλλά όχι σε καθορισμένες περιοχές. Δεν παγιδεύονται σε θέσεις όπου οι μεταξύ τους ελκτικές και απωστικές δυνάμεις είναι ίσες. Μετακινούνται το ένα ως προς το άλλο. Δεν απομακρύνονται όμως, αν δεν αναγκασθούν (με μικρές δυνάμεις που θα ασκήσουμε ή με θέρμανση). Παραμένουν συγκεντρωμένα σε κοιλότητες ή δοχεία (λόγω του βάρους τους) ή ρέουν (αν δεν εμποδισθούν) σε χαμηλότερες κοιλότητες ή δοχεία.

Το κύριο μακροσκοπικό χαρακτηριστικό των υγρών είναι η «αυθόρμητη» ροή και συγκεντρώσή τους στα κοντινότερα προς τη Γη σημεία του βαρυτικού πεδίου της (ή των άλλων πλανητών) λόγω του βάρους τους. Άλλα μακροσκοπικά χαρακτηριστικά τους είναι ο σχεδόν σταθερός όγκος τους, αλλά και το ευμετάβλητο του σχήματός τους, αφού έχουν τη δυνατότητα να ρέουν, άλλα ευκολότερα και άλλα δυσκολότερα.

Το ερώτημα: με δεδομένο ότι τα μόρια κινούνται συνεχώς, πώς κινούνται τα μόρια που συγκροτούν υγρά σώματα; Όπως αναφέραμε ήδη, τα μόρια που συγκροτούν υγρά σώματα δεν παραμένουν σε σταθερές μεταξύ τους θέσεις. Μπορούμε να τα φαντασθούμε σαν μικρές σφαίρες που «χοροπηδούν» (ή ανακλίνονται) συνεχώς στο εσωτερικό τοίχωμα μεγαλύτερων σφαιρών. Όμως οι μεγαλύτερες αυτές σφαίρες δεν παραμένουν ακίνητες, όπως στην περίπτωση των στερεών σωμάτων. Κινούνται διαρκώς μεταξύ τους, μια που βρίσκονται διαρκώς σε επαφή αλληλάζοντας διαρκώς κατεύθυνση, καθώς στην πορεία τους «αλληλοσυγκρούονται». Έτσι μπορούμε να φαντασθούμε τα μόρια των υγρών να κινούνται μέσα σε «κυλινδρικούς διαδρόμους» που αλληλάζουν συνεχώς και τυχαία κατεύθυνση. Αυτές είναι οι άτακτες, «θερμικές» μικροκινήσεις των μορίων των υγρών. Όσο ταχύτερες είναι, τόσο θερμότερο εμφανίζεται το υγρό μακροσκοπικά. Όταν όμως τα μόρια κινούνται και προς μία κατεύθυνση ομαδικά, τότε το υγρό εμφανίζεται να «ρέει» (βλ. και Ελεύθερο μικρο-Ανάγνωση για τα Στερεά, Υγρά και Αέρια).

Το επόμενο ερώτημα: είναι μεγαλύτερες οι αποστάσεις μεταξύ των μορίων των υγρών σωμάτων από τις αποστάσεις μεταξύ των μορίων των στερεών σωμάτων; Υπάρχει η εντύπωση ότι, γενικά, οι μέσες αποστάσεις μεταξύ των μορίων των υγρών σωμάτων είναι πολύ μεγαλύτερες των μέσων α-

ποστώσεων των μορίων των στερεών σωμάτων. Αυτό δεν είναι ακριβές. Υπάρχει μια μικρή διαφορά (που δικαιολογείται θεωρητικά), χωρίς όμως στις περισσότερες περιπτώσεις να είναι αισθητή. Αυτό αποδεικνύεται και από το γεγονός ότι τα υγρά εμφανίζονται –και είναι γενικά– λιγότερο συμπιεστικά από τα αντίστοιχα στερεά. Η διαφορά συμπιεστότητας μεταξύ της στερεάς και της υγρής κατάστασης μερικών σωμάτων κατά κανόνα οφείλεται στις κενές θέσεις μορίων πολλών στερεών σωμάτων (όπως αναφέραμε), ενώ δεν υπάρχουν κενές θέσεις μορίων στα υγρά.

τα αέρια σώματα

Τα μόρια των σωμάτων που ονομάζουμε αέρια, κινούνται ελεύθερα, χωρίς και αυτά να παγιδεύονται σε θέσεις όπου οι μεταξύ τους ελκτικές και απωστικές δυνάμεις είναι ίσες ούτε συγκεντρώνονται σε κοιλότητες ή δοχεία. Μετακινούνται το ένα ως προς το άλλο και διασκορπίζονται (αν δεν τα εμποδίσουμε, βάζοντάς τα σε κάποιο δοχείο) προς όλες τις κατευθύνσεις, αυθόρμητα χωρίς τη δική μας παρέμβαση.

Τα κύρια μακροσκοπικά χαρακτηριστικά τους είναι ο μη σταθερός όγκος τους και το ευμετάβλητο του σχήματός τους. Μάλιστα, αν αφεθούν σε απεριόριστο χώρο, απομακρύνονται αυθόρμητα και διασκορπίζονται προς όλες τις κατευθύνσεις (βλ. και Ελεύθερο μικρο-Ανάγνωση για τα Στερεά, Υγρά και Αέρια).

Το πρώτο ερώτημα: με δεδομένο και πάλι ότι τα μόρια κινούνται συνεχώς, πώς κινούνται τα μόρια που συγκροτούν αέρια σώματα; Κινούνται τυχαία προς όλες τις κατευθύνσεις σε ευθύγραμμες τροχιές, έως ότου βρεθούν κοντά σε άλλα μόρια του αερίου (ή κάποιου άλλου σώματος), με τα οποία θα αλληλεπιδράσουν (ή θα «συγκρουθούν») και θα αλλοιάξουν κατεύθυνση.

Το δεύτερο ερώτημα: ποιες είναι οι συνθήκες μέσες αποστάσεις μεταξύ των μορίων των αερίων; Η απάντηση είναι αδύνατη ή θα είναι πολύ γενική. Ανάλογα με τον αριθμό των μορίων του αερίου και τον διατιθέμενο χώρο όπου κινούνται (τον όγκο του αερίου), αυτές οι αποστάσεις (ελεύθερες διαδρομές, όπως ονομάζονται) είναι δυνατό να κυμαίνονται από μερικά χιλιοστά έως και μερικά χιλιόμετρα (ή και περισσότερο, αν ένα μόριο απομακρυνθεί από την ατμόσφαιρα της γης και αρχίσει να κινείται στο διάστημα!)

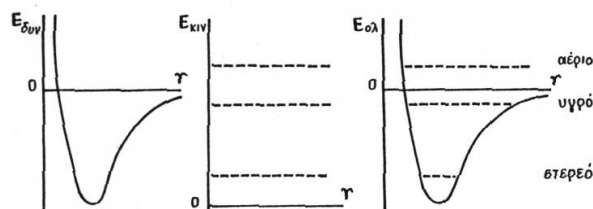
τα στερεά ↔ υγρά ↔ αέρια σώματα

Αναφερθήκαμε σε στερεά, υγρά και αέρια σώματα του μακροκοσμού μας, όμως –ακριβέστερα– θα έπρεπε να αναφερόμαστε σε σώματα που βρίσκονται σε στερεή, υγρή ή αέρια φυσική κατάσταση αντίστοιχα. Αυτή η ορολογία αποδίδει ακριβέστερα την πραγματικότητα, δεδομένου ότι τα ίδια σώματα, σε διαφορετικές συνθήκες, είναι δυνατό να εμφανισθούν σε μία από αυτές τις τρεις φυσικές καταστάσεις: στερεή ↔ υγρή ↔ αέρια.

Ποιες είναι όμως οι συνθήκες που καθορίζουν τη μακροσκοπική κατάσταση των σωμάτων, άρα και τον τρόπο των μικροκινήσεων των μορίων σε κάθε περίπτωση;

Τρεις είναι οι κύριες παράμετροι: η θερμοκρασία των σωμάτων, το βαρυτικό πεδίο και η εξωτερική πίεση. Με αυτή τη σειρά θα τις αξιολογήσουμε μάλιστα ως προς τη συνεισφορά τους.

Η κυριότερη παράμετρος είναι, πράγματι, η θερμοκρασία (βλ. Παράγραφο και Ελεύθερο μικρο-Ανάγνωση για τη θερμοκρασία και τη θερμότητα). Μικροκινήσεις των μορίων με μεγάλες ταχύτητες (δηλαδή μεγάλες κινητικές ενέργειες / μεγάλη θερμοκρασία) είναι δυνατό να αποδεσμεύσουν τα μόρια ενός στερεού σώματος από τις σταθερές θέσεις ισοδυναμίας τους. Τότε το στερεό σώμα μετατρέπεται σε ρευστό (υγρό ή αέριο).



Σε ποια από τις δύο καταστάσεις, την υγρή ή την αέρια, θα μετατραπεί το στερεό σώμα (στη δεδομένη θερμοκρασία) το καθορίζουν πλέον το βαρυτικό πεδίο και η εξωτερική πίεση.

Το βάρος, δηλαδή η βαρυτική δύναμη που ασκεί η Γη σε κάθε μόριο, υποχρεώνει τα μόρια να παραμείνουν συγκεντρωμένα κοντά στη Γη, σε κοιλότητες ως υγρό, αν έχουν μεγάλη μάζα (επομένως ασκείται σε αυτά μεγάλη βαρυτική δύναμη) και αν οι ταχύτητές τους (δηλαδή η θερμοκρασία του σώματος) δεν είναι αρκετά μεγάλες, ώστε να κινηθούν προς όλες τις κατευθύνσεις. Για τον λόγο αυτό τα υγρά «ρέουν», ώστε να πλησιάζουν όσο το δυνατό περισσότερο στη Γη. Αντίθετα, τα μόρια με μικρότερη μάζα (επομένως και μικρότερο βάρος) και τις ίδιες ταχύτητες (θερμοκρασία) είναι δυνατό να ξεφύγουν και να κινηθούν προς όλες τις κατευθύνσεις ως αέριο.

Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι και στα μόρια ενός σώματος που βρίσκεται στην αέρια κατάσταση ασκείται βαρυτική δύναμη από τη Γη. Απόδειξη είναι η ύπαρξη της ατμόσφαιρας, που αποτελείται από αέρια, γύρω από τη γη. Η μάζα της γης συγκρατεί τα μόρια αυτών των αερίων, ασκώντας μια ελκτική δύναμη (το βάρος) στο καθένα.

Η εξωτερική πίεση (βλ. Παράγραφο και Ελεύθερο μικρο-Ανάγνωση για τις Δυνάμεις και την Πίεση) έχει επίσης καθοριστικό ρόλο. Εξωτερική πίεση είναι δυνατό να είναι η ατμοσφαιρική πίεση, αν το σώμα είναι σε επαφή με την ατμόσφαιρα ή μια τεχνητή πίεση που δημιουργούμε σε κλειστό δοχείο με αέρα όπου έχουμε τοποθετήσει το σώμα. Μεγάλη πίεση εξωτερικά σημαίνει πολλά μόρια του αέρα και πολλές συγκρούσεις με τα μόρια του σώματος, όταν επιχειρούν να απομακρυνθούν από τα υπόλοιπα μόρια του σώματος. Όταν η εξωτερική πίεση είναι μεγάλη, είναι δυνατό (ακόμη και όταν η θερμοκρασία του σώματος είναι μεγάλη) τα μόριά του να εμποδίζονται από τα μόρια του αέρα να κινηθούν προς όλες τις κατευθύνσεις και να παραμείνουν συγκεντρωμένα ως υγρό. Αντίθετα, όταν η εξωτερική πίεση είναι μικρή, τα μόρια του σώματος είναι δυνατό να κινηθούν ευκολότερα προς όλες τις κατευθύνσεις ως αέριο.

Είναι φανερό ότι η εμφάνιση ενός σώματος σε μία από τις τρεις καταστάσεις (τη στερεή, την υγρή ή την αέρια) είναι συγκυριακή. Εξαρτάται από τη θερμοκρασία (κυρίως), αλλά και από τη βαρύτητα και από την εξωτερική πίεση (για την υγρή και την αέρια κατάσταση κυρίως).

Στο εργαστήριο είναι δυνατό να έχουμε ένα σώμα σε οποιαδήποτε από τις τρεις καταστάσεις, συνδυάζοντας κατάλληλα τις τρεις αυτές παραμέτρους. Για παράδειγμα, ακόμα και σε χαμηλές θερμοκρασίες ένα σώμα είναι δυνατό να είναι σε αέρια κατάσταση, αν έχουμε δημιουργήσει μικρό βαρυτικό πεδίο και μικρή εξωτερική πίεση. Αντίθετα, ένα σώμα είναι δυνατό να είναι σε στερεή κατάσταση ακόμα και σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, αν η εξωτερική πίεση είναι πολύ μεγάλη.

Στην καθημερινή ζωή η κατάσταση ενός σώματος είναι σε συνάρτηση με τις κρατούσες, κατά περιοχή και εποχή, θερμοκρασίες (κυρίως), αλλά και από το βαρυτικό πεδίο και την ατμοσφαιρική πίεση στον πλανήτη μας. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι οι κάτοικοι των τροπικών και εύκρατων περιοχών έχουν συνδέσει το νερό με την υγρή (κυρίως) κατάσταση, ενώ αντίθετα οι κάτοικοι των πολικών περιοχών με τη στερεή (κυρίως) κατάστασή του. Είναι επίσης χαρακτηριστικό ότι το νερό μετατρέπεται σε υδρατμούς στη θερμοκρασία των 100 °C στο επίπεδο της θάλασσας, ενώ σε μεγάλα υψόμετρα, όπου η βαρύτητα και η ατμοσφαιρική πίεση είναι γενικά μικρότερες, το νερό μετατρέπεται σε αέριο σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Στη Σελήνη, όπου η βαρύτητα είναι πολύ μικρότερη από αυτή της Γης, το νερό θα μετατρεπόταν σε υδρατμούς σε πολύ χαμηλότερες θερμοκρασίες. Γνωρίζουμε μάλιστα ότι η Σελήνη δεν έχει νερό –τουλάχιστο σε μεγάλες ποσότητες– ούτε καν ατμόσφαιρα, γιατί το βαρυτικό της πεδίο δεν είναι αρκετό για να συγκρατήσει τα μόρια των αερίων γύρω της... Ούτε ο πλανήτης Άρης έχει ατμόσφαιρα, για τον ίδιο λόγο. Αντίθετα στον πλανήτη Δία όλα τα αέρια του πλανήτη μας θα ήταν «υγρά». Στο δεδομένο γήινο καθημερινό μας περιβάλλον, λοιπόν, τα σώματα που μας περιβάλλουν βρίσκονται ευκαιριακά και μόνο στην κατάσταση που βρίσκονται...

Υπάρχουν διάφορες διαδικασίες κατά τις οποίες μπορούμε να μεταβάλλουμε έναν (ή και περισσότερους) από τους παράγοντες που καθορίζουν τη φυσική κατάσταση ενός σώματος. Σύντομα αναφέρουμε τις παρακάτω:

- Τήξη, δηλαδή μετάβαση από τη στερεή στην υγρή κατάσταση ενός σώματος,
- Βρασμός, δηλαδή μετάβαση από την υγρή στην αέρια κατάσταση ενός σώματος (μεταβολή της κίνησης των μορίων σε όλο τον όγκο του σώματος),
- Εξάτμιση, δηλαδή μετάβαση από την υγρή στην αέρια κατάσταση ενός σώματος (μεταβολή της κίνησης των μορίων μόνο της επιφάνειας του σώματος),

- Συμπύκνωση ή Υγροποίηση, δηλαδή μετάβαση από την αέρια στην υγρή κατάσταση ενός σώματος,
- Πήξη, δηλαδή μετάβαση από την υγρή στη στερεή κατάσταση ενός σώματος.

Σημειώνουμε ότι οι τιμές της θερμοκρασίας, της βαρύτητας, της πίεσης και των δυνάμεων που απαιτούνται για τις μεταβολές των φυσικών καταστάσεων των σωμάτων είναι χαρακτηριστικές για το κάθε σώμα, καθώς πρόκειται κάθε φορά για διαφορετικό είδος μορίων με διαφορετική μάζα και διαφορετικές ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους. Γι' αυτό τα σημεία τήξης, πήξης, βρασμού κ.λπ. ενός σώματος σε δεδομένη πίεση και βαρυτικό πεδίο είναι χαρακτηριστικά για κάθε σώμα.

Ένα ερώτημα: Γιατί κατά τη διάρκεια της τήξης ενός σώματος με προσφορά θερμότητας (όταν δε μεταβάλλουμε την πίεση ή τη βαρύτητα) η θερμοκρασία του σώματος παραμένει σταθερή; Διότι η ενέργεια που προσφέρουμε στο σώμα (όσο διαρκεί η τήξη) δεν αυξάνει την κινητική ενέργεια των σωματιδίων που το συγκροτούν, αλλά τη δυναμική τους ενέργεια, ώστε να απομακρυνθούν το ένα από το άλλο και να κινηθούν πιο ελεύθερα. Όταν όλα αποδεσμευθούν από τις θέσεις ισοδυναμίας, τότε η θερμοκρασία του σώματος αυξάνεται, δηλαδή η ενέργεια που προσφέρουμε αυξάνει την κινητική ενέργεια των σωματιδίων του.

Εύκολα μπορούμε τώρα να ερμηνεύσουμε γιατί η εξάτμιση, για παράδειγμα, εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

- Από το είδος του σώματος: Μόρια διαφορετικών σωμάτων έχουν διαφορετική μάζα και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με μικρότερες ή μεγαλύτερες δυνάμεις. Επομένως, άλλα (μόρια πτητικών σωμάτων) είναι πιο εύκολο να ξεφύγουν από την έλξη των γειτονικών τους και να κινηθούν ελεύθερα μακριά από το σώμα και άλλα πιο δύσκολο.
- Από τη θερμοκρασία του σώματος: Καθώς η θερμοκρασία είναι το μέτρο της κινητικής ενέργειας των σωματιδίων που συγκροτούν το σώμα, τα μόρια των σωμάτων με μεγαλύτερη θερμοκρασία έχουν μεγάλη κινητική ενέργεια και μπορούν έτσι να ξεφύγουν ευκολότερα από το σώμα.
- Από το εμβαδόν της επιφάνειας του σώματος: Όσο μεγαλύτερο είναι το εμβαδόν αυτό, τόσο περισσότερα μόρια δε συναντούν εμπρός τους άλλα μόρια του σώματος που θα τα εμποδίζουν να ξεφύγουν.
- Από τα ρεύματα αέρα: Καθώς αυτά απομακρύνουν τα μόρια που ξεφεύγουν από το σώμα, ανοίγοντας έτσι τον δρόμο και σε άλλα να ξεφύγουν χωρίς να συναντούν εμπρός τους εμπόδιο.

η θερμοκρασία – η θερμότητα

Είναι σημαντικό να διακρίνουμε τρεις όρους που συνδέονται με τα φαινόμενα της συγκεκριμένης ενότητας και συχνά συγχέονται μεταξύ τους. Πρόκειται για τους όρους θερμοκρασία, θερμότητα και θερμική ενέργεια:

Ως θερμοκρασία ενός σώματος ορίζουμε το φυσικό μέγεθος που συνδέει τη μακροσκοπική αντίληψή μας περί ζεστού και κρύου με την κινητική ενέργεια των σωματιδίων που το συγκροτούν, ιδιαίτερα των μορίων, τα οποία κινούνται συνεχώς και άτακτα.

Ως θερμική ενέργεια ενός σώματος ορίζουμε το άθροισμα της κινητικής ενέργειας όλων των σωματιδίων που το συγκροτούν. Αυτή η κινητική ενέργεια συντηρεί τη θερμική κίνηση των σωματιδίων.

Ως θερμότητα ορίζουμε την ενέργεια που ρέει από ένα σώμα (ή σημείο του σώματος) υψηλότερης θερμοκρασίας σε ένα άλλο σώμα (ή άλλο σημείο του ίδιου σώματος) με χαμηλότερη θερμοκρασία. Δηλαδή από εκεί όπου οι ταχύτητες

των μορίων είναι μεγαλύτερες, εκεί όπου οι ταχύτητες των μορίων είναι μικρότερες. Η ενέργεια αυτή ονομάζεται θερμότητα μόνο κατά τη διάρκεια της ροής (βλ. και Ελεύθερο μικρο-Ανάγνωσμα για τη θερμοκρασία και τη θερμότητα)

Ιστορικά διακρίνονται τρεις τρόποι ροής της θερμότητας (με αγωγή, με ρεύματα, με ακτινοβολία), όμως, εξετάζοντας τις μικροσκοπικές διαδικασίες που συμβαίνουν κατά τη ροή της θερμότητας, διαπιστώνουμε ότι πρόκειται μόνο για δύο (με αγωγή / ακτινοβολία, με ρεύματα). Αναλυτικότερα:

μετάδοση θερμότητας με αγωγή / δίδωση θερμότητας με ακτινοβολία

Μικροσκοπικά αυτή η μετακίνηση ενέργειας σε ένα σώμα εξηγείται ως εξής: Τα μόρια υψηλότερης θερμοκρασίας έχουν μεγαλύτερη κινητική ενέργεια και κινούνται ταχύτερα από αυτά με μικρότερη θερμοκρασία. Λόγω της ταχύτερης κίνησής τους πλησιάζουν περισσότερο τα γειτονικά τους και αλληλεπιδρούν μαζί τους με μεγαλύτερες δυνάμεις. Αυτό σημαίνει ότι τους «δίνουν» δυναμική ενέργεια, που μετατρέπεται στη συνέχεια σε κινητική ενέργεια (βλ. Παράγραφο για την Ενέργεια). Έτσι τα αναγκάζουν να κινούνται και αυτά με μεγαλύτερη ταχύτητα. Αυτό με τη σειρά του σημαίνει αύξηση της θερμοκρασίας και εξομάλυνση της διαφοράς με τελική κατάληξη την εξίσωση των θερμοκρασιών (ήξεμε τότε ότι έχει επέλθει θερμική ισορροπία). Η ίδια διαδικασία συμβαίνει και μεταξύ διαφορετικών σωμάτων διαφορετικής θερμοκρασίας που βρίσκονται σε «επαφή». Τονίζουμε ότι με αυτόν τον τρόπο ροής της θερμότητας, η ενέργεια μόνο είναι αυτή που μεταδίδεται, ενώ γενικά δε μετακινούνται σωματίδια.

Ανακύπτει όμως το ερώτημα: Αφού τα σωματίδια στον μικρόκοσμο δεν έρχονται σε επαφή, πώς μεταδίδει το ένα ενέργεια στο άλλο; Στην περίπτωση των σωμάτων (στερεών, υγρών ή αερίων) ή των σωματιδίων που βρίσκονται σε απόσταση μεταξύ τους η ροή θερμότητας είναι δυνατό να γίνει και με άλλο τρόπο: τη ροή ενέργειας με ηλεκτρομαγνητικά κύματα (βλ. Παράγραφο για τα Κυματικά Φαινόμενα). Αυτή τη διαδικασία ονομάζουμε «δίδωση θερμότητας με ακτινοβολία». Έτσι είναι δυνατή η μετακίνηση ενέργειας / θερμότητας και στο κενό, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση της θέρμανσης της Γης από τον Ήλιο. Σημειώνουμε όμως ότι και η δίδωση ενέργειας από μόριο σε μόριο (που ονομάζουμε μετάδοση θερμότητας με αγωγή) γίνεται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Στην ουσία δηλαδή πρόκειται για τον ίδιο τρόπο ροής θερμότητας.

Αυτός ο τρόπος ροής ενέργειας συμβαίνει σε όλα τα σώματα, κυρίως όμως επικρατεί στα στερεά. Ακόμη όμως και μεταξύ των στερεών σωμάτων διακρίνονται ορισμένα στα οποία η μετάδοση θερμότητας με αγωγή / ακτινοβολία γίνεται ταχύτερα από άλλα. Αυτό οφείλεται είτε σε διαφορές της δομής και αλληλεπίδρασης των μορίων τους είτε και σε έναν πρόσθετο μηχανισμό: τη μεταφορά ελεύθερων ηλεκτρονίων. Έτσι, τα μέταλλα εμφανίζονται ως καλύτεροι αγωγοί από τα μη μέταλλα σώματα, τα οποία ονομάζονται μονωτές (λιγότερο καλοί αγωγοί από τα μέταλλα). Η διαφοροποίηση αυτή οφείλεται στην ιδιαιτερότητα που παρουσιάζει η δομή των μετάλλων, και συγκεκριμένα στην ύπαρξη πολλών και ευκίνητων ελεύθερων ηλεκτρονίων (βλ. Παράγραφο για τα Άτομα), τα οποία μετακινούμενα τα ίδια από περιοχές υψηλότερης

θερμοκρασίας σε περιοχές χαμηλότερης θερμοκρασίας μεταφέρουν τη θερμότητα (και) με ρεύματα (βλ. παρακάτω).

μεταφορά θερμότητας με ρεύματα

Στα ρευστά (υγρά και αέρια) σώματα η μετακίνηση ενέργειας γίνεται και με έναν άλλο τρόπο. Ταχύτερα μόρια μετακινούνται, τα ίδια, από περιοχές των ρευστών με υψηλότερη θερμοκρασία σε περιοχές χαμηλότερης θερμοκρασίας. Μάλιστα αυτή η μετακίνηση μορίων στα ρευστά παρατηρείται και μακροσκοπικά ως «ρεύμα». (Σημειώνουμε ότι στα ρευστά η θερμότητα ρέει και με τους δύο τρόπους: μετάδοση με αγωγή / ακτινοβολία και μεταφορά με ρεύματα, με συνθετότερο τον δεύτερο τρόπο.)

Ένα ερώτημα: Γιατί τα θερμικά ρεύματα κινούνται πάντοτε ανοδικά; Η κίνηση των μορίων είτε στα υγρά είτε στα αέρια είναι ευκολότερη προς τα επάνω. Πράγματι, κινούμενα προς τα κάτω τα μόρια συναντούν στον δρόμο τους στατιστικά περισσότερα μόρια απ' όσα όταν κινούνται προς τα επάνω. Αυτό οφείλεται βέβαια στη βαρύτητα. Η πυκνότητα των μορίων και στα υγρά και στα αέρια αυξάνεται με το βάθος. Αντίθετα μειώνεται με το ύψος. Έτσι, αυτά που επιτυγχάνουν ανοδική πορεία είναι πολύ περισσότερα. Για τον ίδιο λόγο και οι φλόγες, που δεν είναι τίποτα άλλο από ταχύτερα κινούμενα μόρια, κατευθύνονται πάντοτε προς τα επάνω...

η θέρμανση και η ψύξη

Έχοντας ορίσει την έννοια (και φυσικό μέγεθος) θερμότητα και έχοντας γνωρίσει τις συνθήκες και τους τρόπους ροής της, είναι δυνατό να φαντασθούμε τρόπους θέρμανσης (προσφορά θερμότητας → αύξηση θερμοκρασίας) και ψύξης (απαγωγή θερμότητας → μείωση θερμοκρασίας) των σωμάτων.

Ένας τρόπος είναι η επαφή τους με άλλα σώματα, στερεά ή ρευστά, που έχουν διαφορετική θερμοκρασία, ώστε να ενεργοποιηθεί διαδικασία θέρμανσης ή ψύξης με αγωγή.

Η δημιουργία ρευμάτων μέσα στα ρευστά διευκολύνει και επιταχύνει τη θέρμανση ή την ψύξη.

Ένας άλλος τρόπος είναι η «έκθεση» των σωμάτων σε ακτινοβολία (όταν θέλουμε να τα θερμάνουμε) ή ο εξαναγκασμός τους σε ακτινοβολία προς άλλα ψυχρότερα σώματα που τοποθετούμε πλησίον τους (όταν επιθυμούμε την ψύξη τους).

Είναι δυνατό να φαντασθούμε και άλλους τρόπους θέρμανσης και ψύξης των σωμάτων, χωρίς την επαφή τους ή τη γειννιάσή τους με άλλα θερμότερα ή ψυχρότερα σώματα αντίστοιχα, ώστε να επιτύχουμε ροή θερμότητας;

Ένας τρόπος θέρμανσης των στερεών σωμάτων είναι το «κτύπημα» τους από άλλα ή η «τριβή» τους με άλλα. Έτσι μεταδίδουμε μέρος της κινητικής ενέργειας των κινούμενων σωμάτων στα μόρια των σωμάτων που κτυπάμε ή τρίβουμε. Αυτή η διαδικασία μοιάζει με τη θέρμανση με αγωγή, διαφέρει όμως στο ότι η κινητική ενέργεια δεν προέρχεται από θερμότερα μόρια αλλά από κινούμενα σώματα. Απαραίτητη προϋπόθεση και στις δύο περιπτώσεις είναι η μικρή απόσταση των σωμάτων μεταξύ τους, ώστε τα μόριά τους να αλληλεπιδρούν με τις ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις που έχουμε περιγράψει.

Άλλος άμεσος τρόπος θέρμανσης των σωμάτων είναι η «διέλευση» ηλεκτρικού ρεύματος. Τα κινούμενα ηλεκτρόνια

που συνιστούν το ηλεκτρικό ρεύμα αλληλεπιδρούν (ή «συγκρούονται») με τα άτομα και τα μόρια του σώματος και τους μεταδίδουν ένα μέρος της κινητικής τους ενέργειας, εξαναγκάζοντάς τα σε ταχύτερες κινήσεις.

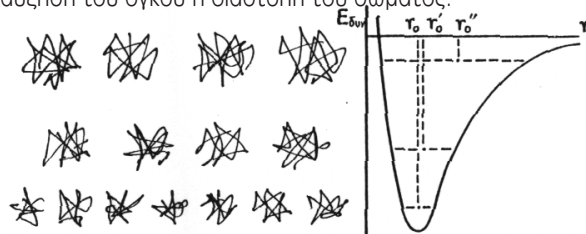
Στην περίπτωση των αερίων σωμάτων, άμεσος τρόπος θέρμανσης ή ψύξης τους είναι και η «συμπίεση» ή η «εκτόνωσή» τους αντίστοιχα. Αυτό επιτυγχάνεται με τον περιορισμό ή την αύξηση του διατιθέμενου χώρου, δηλαδή του όγκου τους.

διαστολή - συστολή αλληλαγνή κατάσταση

Η θέρμανση και η ψύξη των σωμάτων προκαλούν (και) δευτερογενή φαινόμενα. Ένα τέτοιο φαινόμενο είναι η αύξηση (συνήθως) του όγκου τους όταν θερμαίνονται και η μείωσή του (συνήθως) όταν ψύχονται. Αναφερόμαστε στη διαστολή και συστολή των σωμάτων ανάλογα με τη θερμοκρασία τους.

Η διαστολή των σωμάτων με την αύξηση της θερμοκρασίας τους εξηγείται μικροσκοπικά ως εξής: αύξηση της θερμοκρασίας ενός σώματος σημαίνει αύξηση της κινητικής ενέργειας και της ταχύτητας των μορίων του, με επακόλουθο την απομάκρυνση του ενός από το άλλο. Αυτό συμβαίνει γιατί οι μεταξύ τους απωστικές δυνάμεις δεν τους επιτρέπουν μείωση των αποστάσεών τους (r) πέραν ενός ορίου, ενώ η πρόσθετη κινητική ενέργεια που έχουν τους επιτρέ-

πει μεγαλύτερες μεταξύ τους απομακρύνσεις (αύξηση της απόστασης ισοδυναμίας $r_0 \rightarrow r_0' \rightarrow r_0'' \rightarrow \dots$). Με άλλα λόγια τα μόρια απαιτούν –και επιτυγχάνουν– μεγαλύτερο χώρο για τις μικροκινήσεις τους. Μακροσκοπικά αυτό προκαλεί αύξηση του όγκου ή διαστολή του σώματος.



Η μείωση του όγκου ή η συστολή των σωμάτων με τη μείωση της θερμοκρασίας τους εξηγείται ανάλογα. Μερικές περιπτώσεις, με χαρακτηριστικότερη εκείνη του πάγου στην περιοχή θερμοκρασιών 0°C έως 4°C όπου με τη μείωση της θερμοκρασίας αυξάνεται ο όγκος, δεν αναιρούν τον κανόνα. Οφείλονται σε συνδυασμό διαδικασιών του μικρόκοσμου, που η περιγραφή τους δεν είναι εύκολη αλλιώς ούτε απαραίτητη για τη μελέτη μας.

Ένα άλλο φαινόμενο είναι η αλληλαγνή της φυσικής κατάστασης των σωμάτων (στερεά $\leftrightarrow$ υγρά $\leftrightarrow$ αέρια), που έχει ήδη μελετηθεί μικροσκοπικά (βλ. Παράγραφο και Ελεύθερο μι-

η Δύναμη – η Πίεση

Η βιωματική, εμπειρική γνωριμία μας με τον φυσικό κόσμο, και ειδικότερα με τις δυνάμεις που μας ασκούν τα (και ασκούμε στα) διάφορα σώματα, μας υπέβαλε την αποδοχή και ορισμό ενός φυσικού μεγέθους που είναι σε συνάρτηση με τη δύναμη. Ονομάζουμε αυτό το φυσικό μέγεθος πίεση. Θεωρούμε ότι όπου υπάρχει πίεση ασκούνται δυνάμεις στα σώματα που βρίσκονται εκεί. Και αντίστροφα, όταν ασκούνται δυνάμεις σε ένα σώμα, δημιουργείται πίεση στο εσωτερικό του.

Εκτός βέβαια της εμπειρικής μας αίσθησης της πίεσης και της δύναμης, έχουμε καθορίσει και τη μαθηματική τους σχέση: η πίεση προκύπτει από το πηλίκο της δύναμης που ασκείται στην επιφάνεια ενός σώματος προς την επιφάνεια αυτή.

Αν όμως αισθανόμαστε μακροσκοπικά τις δυνάμεις και την πίεση των σωμάτων, πρέπει να επικαλεσθούμε τις μικροσκοπικές διαδικασίες των μορίων τους, για να τις εξηγήσουμε και να ερμηνεύσουμε τα διάφορα φαινόμενα που προκαλούν και στην περίπτωση των ρευστών αλλήλ και στην περίπτωση των στερεών σωμάτων (βλ. Ελεύθερο μικρο-Ανάγνωσμα για τις Δυνάμεις και την Πίεση).

Η πίεση των αερίων σωμάτων, καταρχήν, μας είναι εξαιρετικά οικεία και τη βιώνουμε καθημερινά, ιδιαίτερα την ατμοσφαιρική πίεση (στο στήθος μας καθώς αναπνέουμε...), αλλήλ και την πίεση του ανέμου (όταν υπάρχει). Η μικροσκοπική ερμηνεία είναι προφανής από όσα έχουμε αναφέρει ήδη για τις κινήσεις των μορίων των αερίων. Ακόμη και όταν τα αέρια είναι ακίνητα, τα μόριά τους κινούνται συνεχώς και τυχαία προς όλες τις κατευθύνσεις. Ερχόμενα πλησίον των μορίων άλλου σώματος (του σώματός μας, για παράδειγμα), αλληλεπιδρούν με αυτά

με απωστικές δυνάμεις. Τότε αλληλάζουν κατευθύνσεις και απομακρύνονται και πάλι. (Πολλές φορές χρησιμοποιούμε τον όρο «συγκρούονται», αλλήλ πρέπει να λαμβάνουμε κάθε φορά υπόψη ότι τα μόρια δεν έρχονται ποτέ σε «επαφή»...). Αισθανόμαστε τότε πίεση (αεροστατική πίεση). Είναι προφανές βέβαια γιατί η ατμοσφαιρική πίεση είναι μεγαλύτερη κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας από ό,τι υψηλότερα. Η πυκνότητα των μορίων της είναι μεγαλύτερη λόγω της βαρύτητας. Αντίστοιχα, όταν περιορίσουμε ένα αέριο σε όλο και μικρότερο χώρο, η πίεση μεγαλώνει. Όσον αφορά στην πίεση του ανέμου, για να την εξηγήσουμε πρέπει να λάβουμε υπόψη μας, εκτός των συνεχών τυχαίων προς όλες τις κατευθύνσεις κινήσεων των μορίων, και την κίνηση των μορίων προς μία κατεύθυνση, η οποία και δημιουργεί τον άνεμο. Τότε έχουμε πρόσθετες «συγκρούσεις» των μορίων με όποιο σώμα βρίσκεται στον δρόμο τους, άρα πρόσθετη (εκτός της ατμοσφαιρικής) πίεση.

Η πίεση των υγρών είναι ανάλογη αυτής των αερίων. Ακόμη και όταν τα υγρά είναι ακίνητα, αισθανόμαστε πίεση στο εσωτερικό τους, που την ονομάζουμε υδροστατική πίεση. Όσο βαθύτερα είμαστε μάλιστα, τόσο μεγαλύτερη είναι η πίεση. Όπως και στην περίπτωση των ακίνητων αερίων, και στα ακίνητα υγρά οι συνεχείς, τυχαίες, προς όλες τις κατευθύνσεις κινήσεις των μορίων τους δημιουργούν πίεση λόγω των «συγκρούσεών» τους με τα μόρια των σωμάτων που βρίσκονται στο εσωτερικό τους. Η αύξηση όμως της πίεσης με το βάθος στην περίπτωση των υγρών δεν οφείλεται μόνο στην αύξηση της πυκνότητας των μορίων τους σε μεγαλύτερα βάθη, αλλήλ κυρίως στη διαφοροποίηση των κινήσεών τους. Όσον αφορά στην –πρόσθετη– πίεση των κινού-

μενων υγρών, για να την εξηγήσουμε πρέπει επίσης να λάβουμε υπόψη μας, εκτός των συνεχών τυχαίων προς όλης τις κατευθύνσεις κινήσεων των μορίων, και την κίνηση των μορίων τους προς την κατεύθυνση της ροής των υγρών. Τότε έχουμε πρόσθετες «συγκρούσεις» των μορίων με όποιο σώμα βρίσκεται στον δρόμο τους, άρα πρόσθετη (εκτός της υδροστατικής) πίεση.

Ένα δευτερογενές φαινόμενο που οφείλεται στην υδροστατική (και ατμοσφαιρική) πίεση είναι η άνωση. Άνωση ονομάζουμε τη δύναμη με κατακόρυφη διεύθυνση και φορά προς τα άνω που ασκείται στα σώματα που βρίσκονται μέσα σε κάποιο υγρό (ή αέριο). Η δύναμη αυτή είναι η συνισταμένη των δυνάμεων που οφείλονται στις κινήσεις και «συγκρούσεις» των μορίων τους στο εσωτερικό του υγρού (ή του αερίου). Επειδή η πίεση είναι πάντοτε μεγαλύτερη στα μεγαλύτερα βάθη, η συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται στις διάφορες επιφάνειες του σώματος έχει πάντοτε κατακόρυφη διεύθυνση και φορά προς τα άνω (π.χ. πλεύση πλοίων, πτήση κλειστών αερόστατων κ.ά., ενώ η πτήση των ανοικτών θερμικών αερόστατων οφείλεται στη διαφορετική θερμοκρασία του αέρα, άρα και της ταχύτητας των μορίων του στο εσωτερικό και στο εξωτερικό τους).

Ένα εύλογο τώρα ερώτημα: υπάρχει και «στερεοστατική» πίεση, σε αναλογία με την υδροστατική και αεροστατική πίεση; Βεβαίως, αφού την αισθανόμαστε όταν ερχόμαστε σε «επαφή» με τα στερεά σώματα, ιδιαίτερα όταν τους ασκούμε ή μας ασκούν δυνάμεις. Αισθανόμαστε –χωρίς να τις αντιλαμβανόμαστε– τις τυχαίες μικροκινήσεις των μορίων τους. Καθώς αυτά κινούνται συνεχώς και τυχαία (πάντοτε γύρω από τις θέσεις ισοδυναμίας τους), έρχονται περιοδικά σε μικρότερες αποστάσεις από τα δικά μας μόρια, με τα οποία αλληλεπιδρούν («συγκρούονται»). Έτσι αισθανόμαστε και την άσκηση δύναμης στο σώμα μας. Αλλά και την αύξηση της στερεοστατικής πίεσης των σωμάτων σε χαμηλότερα ύψη είναι δυνατό να αισθανθούμε. Ας προσπαθήσουμε, για παράδειγμα, να τρυπήσουμε με το δάκτυλό μας ένα σάκο μεγάλου ύψους που περιέχει βαμβάκι. Είναι πολύ ευκολότερο κοντά στην κορυφή του από ό,τι κοντά στη βάση του. Το ίδιο συμβαίνει και όταν προσπαθούμε να μετακινήσουμε ένα βιβλίο που βρίσκεται (υψηλά ή χαμηλά) σε μια κατακόρυφη στήλη από βιβλία...

Μερικά ερωτήματα: Πώς δικαιολογείται η ελαστικότητα μερικών στερεών σωμάτων; Δικαιολογείται ακριβώς από τις μεγάλες αποστάσεις των μορίων τους, αλλά και τις ελκτικές και απωστικές δυνάμεις που ασκούν το ένα στο άλλο. Πρέπει όμως να σημειώσουμε ότι όλα τα στερεά σώματα έχουν κάποια ελαστικότητα. Είναι δηλαδή συμπιεστά ή εκτατά ή μεταβλητού σχήματος. Σε μερικές περιπτώσεις όμως απαιτείται να ασκήσουμε πολύ μεγάλες δυνάμεις για να τα συμπίεσουμε ή να τα εκτείνουμε ή να τα παραμορφώσουμε. Μερικά στερεά σώματα είναι μάλιστα πολύ ελαστικά. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι δυνατόν η ελαστικότητα να οφείλεται και σε πολλής «κενές» θέσεις ισοδυναμίας, θέσεις δηλαδή που δεν τις καταλαμβάνουν αντίστοιχα μόρια (βλ. Παράγραφο για τα Στερεά Σώματα).

Πώς δικαιολογείται άλλοτε η προσωρινή και άλλοτε η μόνιμη παραμόρφωση μερικών στερεών σωμάτων στα οποία ασκούμε δυνάμεις; Στην περίπτωση της προσωρινής παραμόρφωσης των στερεών σωμάτων η δύναμη που ασκούμε μετατοπίζει απλώς μερικά μόρια. Όμως οι μεταξύ των μορίων δυνάμεις τα επαναφέρουν στις αρχικές τους θέσεις, όταν δεν ασκούμε πλέον εξωτερική δύναμη στο σώμα. Αντίθετα, στις

περιπτώσεις μόνιμης παραμόρφωσης τα μόρια έχουν μετατοπιστεί σε νέες θέσεις ισοδυναμίας. Αυτό σημαίνει ότι η εξωτερική δύναμη που ασκήθηκε στο σώμα «υπερνίκησε» τις δυνάμεις μεταξύ των μορίων και τα μετατόπισε οριστικά. Σε μερικές περιπτώσεις μάλιστα δεν προκαλείται απλώς μετατόπιση αλλά οριστική και μεγάλη απομάκρυνση μερικών μορίων, που μακροσκοπικά ονομάζουμε θραύση του σώματος.

τα φαινόμενα τριβής

Φαινόμενα τριβής ονομάζουμε τα φυσικά φαινόμενα στα οποία η σχετική κίνηση διάφορων σωμάτων που «εφάπτονται» εμποδίζεται λόγω της δημιουργίας πιέσεων ή, ισοδύναμα, προκαλεί την άσκηση δυνάμεων σε αυτά.

Πρόκειται για δευτερογενή φαινόμενα της πίεσης ή των δυνάμεων στις περιπτώσεις σχετικής κίνησης σωμάτων που βρίσκονται σε επαφή.

Τη σχετική κίνηση των σωμάτων είναι δυνατό να τη διακρίνουμε σε διάφορες περιπτώσεις: την ολίσθηση ενός στερεού σώματος σε επαφή με ένα άλλο στερεό σώμα, την κύλιση ενός στερεού σώματος επάνω σε ένα άλλο στερεό σώμα, την κίνηση ενός στερεού σώματος μέσα σε ένα ρευστό ή την κίνηση ενός ρευστού γύρω από ένα στερεό σώμα... Σε κάθε περίπτωση εμφανίζονται πιέσεις και ασκούνται δυνάμεις στα σώματα. Αυτές τις δυνάμεις ονομάζουμε γενικά δυνάμεις τριβής.

Τα φαινόμενα τριβής, σε κάθε περίπτωση, οφείλονται στην πραγματικότητα στις ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις μεταξύ των μορίων των σωμάτων. Η πιο λεπτομερής μελέτη τους, βέβαια, παραπέμπει –και πάλη– στον μικρόκοσμο (βλ. και Ελεύθερο μικρο-Ανάγνωσμα για τα Φαινόμενα Τριβής).

Η ολίσθηση ενός στερεού σώματος επάνω σε ένα άλλο στερεό σώμα με το οποίο είναι σε διαρκή επαφή εμποδίζεται κατά κανόνα από μια δύναμη, που ονομάζουμε γενικά τριβή ολίσθησης, πολύ γνωστή από την εμπειρία μας.

Αυτή η δύναμη εμφανίζεται όταν προσπαθούμε να κινήσουμε (στατική τριβή) ή κινούμε (τριβή ολίσθησης) ήδη το ένα σώμα ως προς το άλλο, και μόνο τότε. Έχει δε πάντοτε την ίδια διεύθυνση αλλά αντίθετη φορά από αυτή της κίνησης. Η εξήγηση είναι προφανής, αν εξετάσουμε μικροσκοπικά τις επιφάνειες των στερεών σωμάτων. Τα μόρια που τις συγκροτούν δε βρίσκονται σε τέλεια επίπεδη –οντό– επιφάνεια. Άλλα προεξέχουν και άλλα σχηματίζουν εσοχές. Έτσι όταν οι επιφάνειες τείνουν να ολισθήσουν ή ολισθαίνουν υπό την επίδραση κάποιας εξωτερικής δύναμης, πάντοτε σε επαφή μεταξύ τους, τα προεξέχοντα μόρια της μίας συναντούν τα αντίστοιχα της άλλης ή εισχωρούν προσωρινά στις εσοχές της. Η περαιτέρω ολίσθηση των σωμάτων τότε ή εμποδίζεται εντελώς ή συνεχίζεται, συναντώντας όμως πάντα τη συνεχή αντίδραση των ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων που συγκρατούν τα προεξέχοντα μόρια. Κάποια από αυτά αποκολλώνται, κάποια παραμένουν. Συνολικά αυτή η αντίδραση των μορίων εμφανίζεται στον μακρόκοσμο ως δύναμη τριβής ολίσθησης.

Μια ερώτηση: από τι εξαρτάται η τριβή ολίσθησης; Θεωρητικά εξαρτάται από την κάθετη στις ολισθαίνουσες τριβόμενες επιφάνειες δύναμη (που τις συγκρατεί σε επαφή) και από την «υφή» των επιφανειών (αδρή ή λεία), που τη θεωρούμε όμως ιδεατά ομοιόμορφη παντού. Στην πράξη εξαρτάται και από το εμβαδόν των τριβόμενων επιφανειών (αφού δεν έχουν σε όλη την έκτασή τους ίδια υφή, όπως αποδεικνύει η χρήση παχύτερων ελαστικών τροχών στους αγώνες αυτοκινήτου...).

Η κύλιση ενός στερεού σώματος, με τη μορφή κυλινδρικού τροχού, επάνω σε ένα άλθιο στερεό σώμα εμποδίζεται ή δυσκολεύεται επίσης από μία δύναμη (σωστότερα, ροπή δύναμης), που ονομάζουμε τριβή κύλισης, επίσης γνωστή από την εμπειρία μας.

Αυτή η τριβή, όπως και η αντίστοιχη κατά την ολίσθηση, εμφανίζεται όταν προσπαθούμε να κυλήσουμε ή κυλάμε τον τροχό επάνω στο επίπεδο σώμα, και μόνο τότε. Η εξήγηση είναι προφανής, αν εξετάσουμε μικροσκοπικά τις επιφάνειες των σωμάτων. Στο σημείο επαφής τους οι επιφάνειες και των δύο σωμάτων, του τροχού και του επιπέδου σώματος, παραμορφώνονται λόγω του βάρους του τροχού. Στο επίπεδο σώμα, συγκεκριμένα, σχηματίζεται ένα μικρό «εξόγκωμα», πάντα εμπρός από τον τροχό. Ενώ η κυλινδρική επιφάνεια του τροχού στα σημεία επαφής με το επίπεδο γίνεται επίπεδη, έστω και προσωρινά. Αυτές οι δύο παραμορφώσεις σε μερικές περιπτώσεις εμποδίζουν εντελώς την κύλιση ή τη δυσκολεύουν. Τη συνολική αντίδραση στην κύλιση την αποδίδουμε μακροσκοπικά σε μία δύναμη (ή ακριβέστερα ροπή) την τριβή κύλισης.

Μία ερώτηση: από τι εξαρτάται η τριβή κύλισης; Εξαρτάται από το βάρος του κυλιόμενου σώματος, την ακτίνα του τροχού (μεγάλη ακτίνα, μικρή τριβή κύλισης) και τη «σκληρότητα» των υλικών κατασκευής του τροχού και του επιπέδου. Σημειώνεται πάντως ότι και τα σκληρότερα υλικά παρουσιάζουν κάποια ελαστικότητα και προσωρινές παραμορφώσεις (π.χ. ράγες και τροχοί τρένου).

Η κίνηση ενός στερεού σώματος μέσα σε ένα ρευστό ή η κίνηση ενός ρευστού γύρω από ένα στερεό σώμα (που βρίσκεται στην πορεία του) κατά κανόνα εμποδίζονται από μια δύναμη, που ονομάζουμε επίσης τριβή (ή αντίσταση) των ρευστών, πολύ γνωστή επίσης από την εμπειρία μας (αλλά πολύ μικρότερη από ό,τι στην περίπτωση των στερεών).

Πράγματι, περισσότερο στα υγρά και λιγότερο στα αέρια, εμφανίζεται μια τέτοια δύναμη, μόνον όμως όταν και στις δύο περιπτώσεις επιχειρούμε την κίνηση ή κατά τη διάρκειά της. Η διεύθυνση της δύναμης είναι παρόληλη με αυτή της κίνησης, έχει όμως πάντοτε αντίθετη φορά. Η εξήγηση της εμφάνισης αυτής της δύναμης είναι προφανής, αν εξετάσουμε τα ρευστά μικροσκοπικά. Η κίνηση ενός στερεού σώματος μέσα σε ένα ρευστό ή η κίνηση ενός ρευστού γύρω από ένα στερεό σώμα (που βρίσκεται στην πορεία του) προκαλεί τη μετακίνηση ή την αλλαγή πορείας κάποιων μορίων του ρευστού και την εκτόπιση κάποιων άλλων από τις περιοχές του ρευστού όπου εκινούντο τυχαία. Τα μόρια όμως αυτά αντιδρούν σε αυτές τις μετακινήσεις και αλληλαγές με τις συνήθειες ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις, που στον μακρόκοσμο εμφανίζονται συνολικά ως δύναμη τριβής (ή αντίστασης) των ρευστών. Μια ερώτηση: από τι εξαρτάται η τριβή στα ρευστά; Εξαρτάται καταρχήν από την πυκνότητα του ρευστού (υγρού ή αερί-

ου), από το εμβαδόν της τομής του στερεού σώματος κάθετα προς την κίνηση (που ονομάζεται μετωπική ή ενεργός επιφάνεια) και από τη σχετική ταχύτητα στερεού και ρευστού (και μάλιστα στο τετράγωνο).

Εξαρτάται και από το σχήμα του στερεού, όμως (παραδόξως!) όχι τόσο από τη μορφή του εμπρός –κατά την κίνηση– μέρους του σώματος αλλά κυρίως από τη μορφή του πίσω μέρους. Σώματα με ιχθυοειδές, για παράδειγμα, σχήμα εμφανίζουν τη μικρότερη τριβή πλύσης σε σχέση με σώματα αλθίου σχήματος, όταν οι αλθες παράμετροι είναι οι ίδιες. Η εξήγηση παραπέμπει και πάλι στον μικρόκοσμο. Στο πίσω μέρος των σωμάτων που κινούνται σε ρευστά δημιουργούνται άτακτες κινήσεις των μορίων του ρευστού (στροβιλισμοί), που δημιουργούν μικρότερη πίεση από ό,τι στο εμπρός μέρος.

Στις περιπτώσεις τριβής παρατηρούνται και ορισμένα δευτερογενή φαινόμενα: θέρμανση των τριβόμενων σωμάτων, παραγωγή ήχου, φθορά των σωμάτων... Με βάση το μικροσκοπικό μοντέλο ερμηνείας τα φαινόμενα αυτά προσεγγίζονται ως εξής:

- Θέρμανση των τριβόμενων επιφανειών: Η κινητική ενέργεια, στην οποία οφείλεται η σχετική κίνηση των σωμάτων, μετατρέπεται τελικά σε κινητική ενέργεια των σωματιδίων που τα συγκροτούν, την οποία αντιλαμβανόμαστε μακροσκοπικά ως αύξηση της θερμοκρασίας τους (βλ. και Παράγραφο και Ελεύθερο μικρο-Ανάγνωσμα για τη θερμοκρασία και τη θερμότητα).
- Παραγωγή ήχου: Κατά τη μετακίνηση των δύο σωμάτων τα σωματίδιά τους αρχίζουν να ταλαντώνονται. Αυτή η διαταραχή δημιουργεί πυκνώματα και αραιώματα στα μόρια του αέρα, τα οποία όταν φθάσουν στο αυτί μας τα αντιλαμβανόμαστε ως ήχο (βλ. Παράγραφο για τα Κυματικά Φαινόμενα και Ελεύθερο μικρο-Ανάγνωσμα για τον ήχο).
- Φθορές: Κατά τη μετακίνηση των σωματιδίων της μίας επιφάνειας σε μικρές αποστάσεις από τα σωματίδια της άλλης, οι ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ τους συχνά αναγκάζουν ομάδες σωματιδίων να αποδυσμευθούν από τις θέσεις ισοδυναμίας τους και να απομακρυνθούν από τα υπόλοιπα (από το σώμα). Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι το σώμα φθείρεται. Μάλιστα συχνά αυτές οι ομάδες των σωματιδίων είναι παρατηρήσιμες από εμάς, π.χ. υπολείμματα από τη γόμα μετά το σβήσιμο...

Η αντιμετώπιση των τριβών, στις περιπτώσεις που αυτές είναι ανεπιθύμητες, γίνεται με τη χρήση λιπαντικών ουσιών. Πρόκειται για ουσίες των οποίων τα μόρια ασκούν μεταξύ τους, αλλά και προς τα μόρια των σωμάτων, μικρότερες ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις σε σύγκριση με αυτές που ασκούσαν τα μόρια των δύο σωμάτων μεταξύ τους. Επομένως, η κίνηση των σωμάτων διευκολύνεται. Συχνά μάλιστα ως λιπαντικές ουσίες χρησιμοποιούνται ρευστά, αφού τα μόριά τους έχουν μεγαλύτερη ελευθερία κίνησης και δεν αντιστέκονται με μεγάλες ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις στην κίνηση των σωμάτων.

τα Ηλεκτρο-Μαγνητικά Φαινόμενα

Ηλεκτρο-Μαγνητικά φαινόμενα ονομάζουμε τα φυσικά φαινόμενα που δημιουργούνται από ηλεκτρικά φορτία (σημειώνουμε ότι δεν υπάρχουν «μαγνητικά φορτία»). Ακίνητα ή κινούμενα ηλεκτρικά φορτία είναι η «πηγή» των –γνωστών μας– ηλεκτρικών πεδίων

(του χώρου δηλαδή όπου ασκούνται δυνάμεις, αν θέσουμε κάποιο αλθιο ηλεκτρικό φορτίο). Κινούμενα (και μόνο) ηλεκτρικά φορτία είναι η «πηγή» των –επίσης γνωστών μας– μαγνητικών πεδίων. Με κοινή «πηγή» τα ηλεκτρικά φορτία, τα ηλεκτρικά και μα-

γνητικά πεδία «ενοποιούνται» σε ένα ενιαίο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Θα εξετάσουμε όμως, για λόγους χρηστικούς (και μόνο), χωριστά τα φαινόμενα που συνδέονται με τα ηλεκτρικά πεδία (τα ηλεκτρικά φαινόμενα) από αυτά που συνδέονται με τα μαγνητικά πεδία (τα μαγνητικά φαινόμενα), αλληλά και τις σχέσεις τους (τα φαινόμενα της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής).

τα ηλεκτρικά φαινόμενα

Η δημιουργία ηλεκτρικών πεδίων από ηλεκτρικά φορτία, ακίνητα ή κινούμενα, είναι ένα πρωταρχικό και θεμελιώδες ηλεκτρικό φαινόμενο. Για να είναι όμως ένα τέτοιο πεδίο μετρήσιμο και χρηστικό σε μακροσκοπικό επίπεδο, πρέπει να συγκεντρωθεί ένας μεγάλος αριθμός θετικών φορτίων (δηλαδή θετικών ιόντων) ή ένας μεγάλος αριθμός αρνητικών φορτίων (δηλαδή ηλεκτρονίων). Αυτό επιτυγχάνεται με τη θετική ή αρνητική αντίστοιχα ηλεκτρική φόρτιση (ή ηλέκτριση) σωμάτων. Με τη διαφοροποίηση δηλαδή της –συνήθους– ισότητας των θετικών και αρνητικών ηλεκτρικών φορτίων τους (ή τον διαχωρισμό των φορτίων). Την αντίστροφη διαδικασία, την επαναφορά δηλαδή στην ηλεκτρική ουδετερότητα των σωμάτων, ονομάζουμε εκφόρτιση (βλ. και Ελεύθερο μικρο-Ανάγνωσμα για τον Ηλεκτρισμό).

Ένα πρώτο ερώτημα: πώς είναι δυνατό να συγκεντρωθεί ένας αριθμός θετικών ιόντων ή ηλεκτρονίων, αφού γνωρίζουμε ότι τα ομόσημα φορτία απωθούνται μεταξύ τους; Η απάντηση στο εύλογο αυτό ερώτημα είναι: πράγματι ασκούνται αυτές οι απωστικές δυνάμεις. Η μόνη πρακτική λύση είναι να εκμεταλλευθούμε τα στερεά σώματα, στα οποία τα θετικά ιόντα δεσμεύονται σε μόνιμες θέσεις, και να τα φορτίσουμε θετικά ή αρνητικά. Γνωρίζουμε βέβαια ότι όλα τα σώματα είναι συνήθως ηλεκτρικά ουδέτερα: περιέχουν το ίδιο ποσό θετικού και αρνητικού φορτίου, που αλληλοεξουδετερώνονται. Αν όμως απομακρύνουμε μερικά από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια ενός στερεού σώματος (που είναι δυνατό να διαχυθούν στον περιβάλλοντα χώρο ή να μετακινηθούν σε άλλα σώματα), τότε το σώμα έχει φορτισθεί αρνητικά, αφού τώρα πλεονάζουν τα αρνητικά φορτία. Προσοχή όμως! Ποτέ δε γίνεται η αντίστροφη διαδικασία, η μετακίνηση δηλαδή θετικών ιόντων από ένα στερεό σώμα (όπου καταλαμβάνουν μόνιμες θέσεις, έχουν δε και μεγάλη μάζα) και όχι των ευκίνητων ελεύθερων ηλεκτρονίων.

Πώς όμως στα στερεά σώματα, που έχουν φορτισθεί θετικά ή αρνητικά, τα φορτία δεν απωθούνται; Βεβαίως απωθούνται μεταξύ τους. Στην περίπτωση όμως των θετικά φορτισμένων στερεών σωμάτων, τα θετικά ιόντα συγκρατούνται στις μόνιμες θέσεις τους από τα γειτονικά τους άτομα και μόρια με μεγαλύτερες ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις. Ενώ στην περίπτωση των αρνητικά φορτισμένων σωμάτων, τα ηλεκτρόνια διασκορπίζονται στην επιφάνεια των σωμάτων, όσο το δυνατό σε μεγαλύτερες μεταξύ τους αποστάσεις.

Το πρόβλημα είναι ότι η ηλεκτρική φόρτιση δεν είναι μόνιμη, λόγω ακριβώς των απωστικών μεταξύ των φορτίων δυνάμεων. Ηλεκτρόνια είτε επανέρχονται στο σώμα είτε απομακρύνονται, κατά περίπτωση, και το σώμα ξαναγίνεται ηλεκτρικά ουδέτερο (εκφορτίζεται).

η ηλεκτρική φόρτιση και η ηλέκτριση

Με ποιους όμως τρόπους είναι δυνατό να ηλεκτρίσουμε ένα σώμα; Θα αναφέρουμε δύο απλούς τρόπους, τη φόρτιση με τριβή και την ηλέκτριση με επαγωγή.

Ένας απλός τρόπος είναι η «τριβή» δύο σωμάτων. Ένας αριθμός ηλεκτρονίων είναι δυνατό να μετακινηθεί από το ένα σώμα στο άλλο, ανάλογα με τον αριθμό των ελεύθερων ηλεκτρονίων του καθενός και κάποια άλλα χαρακτηριστικά τους, αφού η απόστασή τους κατά την τριβή είναι μικρή. (Προσοχή όμως! Επαναλαμβάνουμε ότι ποτέ δε γίνεται η αντίστροφη διαδικασία: η μετακίνηση δηλαδή θετικών ιόντων από ένα στερεό σώμα (όπου καταλαμβάνουν μόνιμες θέσεις και έχουν μεγάλη μάζα) και όχι των ευκίνητων ελεύθερων ηλεκτρονίων.)

Χαρακτηριστικό –και γνωστό– παράδειγμα είναι η τριβή μιας πλαστικής ράβδου με ένα χαρτομάντιλο: η φόρτισή τους με αντίθετα φορτία αποδεικνύεται από τη μεταξύ τους έλξη, που διαπιστώνεται εύκολα. Βέβαια η φόρτισή τους δε διαρκεί για μεγάλο χρονικό διάστημα για λόγους που αναφέραμε ήδη: εκφορτίζονται, γιατί τα πλεονάζοντα ελεύθερα ηλεκτρόνια τους είτε διαχέονται αυτόνομα προς την ατμόσφαιρα ή γειτονικά σώματα είτε «φορτώνονται» σε μόρια του ατμοσφαιρικού αέρα. Η εκφόρτιση γίνεται συντομότερα όταν υπάρχει υγρασία στον αέρα (και) μέσω των μορίων των υδατμών. Γι' αυτό και τα σχετικά φαινόμενα δεν παρατηρούνται όταν υπάρχει μεγάλη υγρασία. Το απλό αυτό πείραμα αποδεικνύει, εκτός των άλλων, ότι όλα τα σώματα, ακόμη και τα μη μέταλλα, έχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια. Προκύπτει τώρα ένα ακόμη ερώτημα: τρίβοντας μια μεταλλική ράβδο, αντί της πλαστικής, με ένα χαρτομάντιλο, είναι δυνατό να διαπιστώσουμε και πάλι φόρτιση; Αυτό θα ήταν αναμενόμενο, αφού τα μέταλλα έχουν πολλή ελεύθερα ηλεκτρόνια. Συγχρόνως όμως έχουν και την ιδιότητα να επιτρέπουν την εύκολη μετακίνησή τους εντός του μετάλλου. Έτσι, παρόλο που φορτίζονται, η φόρτισή τους διαρκεί για ελάχιστα χρόνο, αφού τα πλεονάζοντα ηλεκτρόνια δεν παραμένουν στην περιοχή της τριβής αλλά διασκορπίζονται και το μεταλλικό σώμα εκφορτίζεται σύντομα.

Άλλο χαρακτηριστικό –και γνωστό– παράδειγμα ηλεκτρικής φόρτισης από τριβή είναι η ηλεκτρική φόρτιση των κινούμενων στον ουρανό σύννεφων. Τα σύννεφα ως γνωστό αποτελούνται από μόρια νερού ή σταγονίδια (ομάδες μορίων) νερού. Καθώς μετακινούνται το ένα προς το άλλο σε μικρές αποστάσεις, είναι δυνατό να μεταπηδήσει ένας αριθμός ηλεκτρονίων από τα μόρια του ενός σύννεφου στα μόρια του άλλου. Έτσι δημιουργούνται για ένα μικρό χρονικό διάστημα σύννεφα θετικά και αρνητικά φορτισμένα. Σύντομα, τα πλεονάζοντα ηλεκτρόνια των αρνητικά φορτισμένων σύννεφων είτε διαχέονται στην ατμόσφαιρα μεμονωμένα είτε μετακινούνται ομαδικά προς τα γειτονικά τους θετικά φορτισμένα σύννεφα λόγω των ηλεκτρικών ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων που ασκούνται μεταξύ τους. Έτσι τα σύννεφα εκφορτίζονται και πάλι.

Η εκφόρτιση σωμάτων με ομαδική μετακίνηση ηλεκτρονίων είναι συνήθως βίαιη και συνοδεύεται από θερμικά, ηχητικά και οπτικά φαινόμενα. Μετακινούμενα τα ηλεκτρόνια από το αρνητικά φορτισμένο σύννεφο, αλληλεπιδρούν (ή «συγκρούονται») με άτομα και μόρια του ατμοσφαιρικού αέρα. Προσδίδοντάς τους κινητική ενέργεια, τα θερμαίνουν. Παραμερίζοντάς τα προκαλούν ένα πυκνωμα μορίων του αέρα, που μετακινούμενο φθάνει στα αυτιά μας ως κρότος. Διεγείροντάς τα, συγχρόνως, προκαλούν εκπομπή φωτός, που φθάνει στα μάτια μας ως λάμψη. Πρόκειται ασφαλώς για τις γνωστές μας «βροντές» και «αστραπή». Συχνά η εκφόρτιση ενός αρνητικού σύννεφου γίνεται στο έδαφος. Τα κινούμενα ηλεκτρόνια προκαλούν ανάλογα –θερμι-

κά, ηχητικά και οπτικά– φαινόμενα, που τα χαρακτηρίζουμε ως «κεραυνό». Πολύ ηπιότερα, αλλά ανάλογα, φαινόμενα παρατηρούμε και με μάλινα ρούχα μας, καθώς τα βγάζουμε, ή με ένα αυτοκίνητο που μόλις σταμάτησε, καθώς το ακουμπάμε... Πολύ γνωστές και χαρακτηριστικές είναι βέβαια και οι εικόνες ανθρώπων που σε επαφή με αρνητικά φορτισμένα σώματα εκφορτίζονται και οι ίδιοι (και) μέσω των μαλλιών τους. Οι τρίχες τους τότε εκτείνονται από το κεφάλι τους ακτινικά, λόγω των απωστικών δυνάμεων μεταξύ των πλεοναζόντων ηλεκτρονίων, που φθάνουν έως τις άκρες τους, πριν διαχυθούν στην ατμόσφαιρα. Ένας άλλος τρόπος ηλέκτρισης των σωμάτων είναι η ηλέκτριση με «επαγωγή» ηλεκτρικών φορτίων. Στην περίπτωση της φόρτισης σώματος με τριβή είχαμε την ανταλλαγή ηλεκτρονίων μεταξύ σωμάτων, μετακίνηση δηλαδή ηλεκτρονίων από ένα σώμα σε άλλο ως αποτέλεσμα τριβής.

Στην περίπτωση της ηλέκτρισης σώματος με επαγωγή δεν έχουμε μετακίνηση αλλά διαχωρισμό των φορτίων. Ο διαχωρισμός οφείλεται πάντοτε σε κάποιο εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο μέσα στο οποίο βρέθηκε το σώμα. Συνήθως το πεδίο δημιουργείται από κάποιο ήδη φορτισμένο ή ηλεκτρισμένο σώμα.

Αυτός ο διαχωρισμός γίνεται με δύο τρόπους:

Στα μη μέταλλα (μονωτικά σώματα) διαχωρίζεται το αρνητικό φορτίο (ηλεκτρόνια) από το θετικό φορτίο (πυρήνα) μέσα στα άτομα και μόρια, υπό την επίδραση του εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου. Έτσι, τα ουδέτερα (πάντοτε) μόρια προσωρινά εμφανίζονται με δύο ηλεκτρικούς πόλους (αρνητικό, θετικό). Εμφανίζονται δηλαδή ως διπολικά μόρια. Υπό την επίδραση του εξωτερικού πεδίου τα διπολικά μόρια ευθυγραμμίζονται έτσι, ώστε όλοι οι όμοιοι πόλοι να έχουν την ίδια κατεύθυνση, ανάλογα βέβαια με την πολικότητα του εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου / φορτισμένου σώματος. Έτσι περιοχές του σώματος εμφανίζονται (προσωρινά) ηλεκτρικά φορτισμένες. Άλλες περιοχές θετικά, άλλες αρνητικά, ανάλογα με την πολικότητα του εξωτερικού πεδίου / φορτισμένου σώματος. (Επαναλαμβάνουμε ότι ο διαχωρισμός των φορτίων στα μόρια είναι συνήθως προσωρινός και μόνο υπό την επίδραση εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου. Υπάρχουν όμως και σώματα των οποίων τα μόρια είναι μονίμως διπολικά. Ένα τέτοιο σώμα, για παράδειγμα, είναι το νερό, που οφείλει μάλιστα τις πολύ καλές διαλυτικές του ιδιότητες στη διπολικότητα των μορίων του.)

Στα μέταλλα (αγώγιμα σώματα) διαχωρίζεται μέρος του φορτίου μερικών ατόμων τους (ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια που καθίστανται ελεύθερα) από το άτομο που παραμένει θετικά φορτισμένο (θετικό ιόν). Υπό την επίδραση εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου τα ελεύθερα ηλεκτρόνια (που συνήθως είναι διασκορπισμένα σε ολόκληρο το σώμα) συγκεντρώνονται σε περιοχές του σώματος όπου είναι περισσότερα των θετικών ιόντων. Αυτή η περιοχή εμφανίζεται αρνητικά ηλεκτρισμένη. Αντίθετα, η περιοχή από όπου λείπουν ελεύθερα ηλεκτρόνια και όπου είναι περισσότερα τα θετικά ιόντα (που παραμένουν στις θέσεις τους) εμφανίζεται θετικά ηλεκτρισμένη. (Η ηλέκτριση από επαγωγή είναι και στα μέταλλα προσωρινή, διαρκεί όσο υπάρχει το εξωτερικό πεδίο.)

Υπάρχει ακόμη και η δυνατότητα να απομακρύνουμε –μετά τον διαχωρισμό τους– τα τοπικά αρνητικά φορτία (ηλεκτρόνια) από την περιοχή του σώματος που είναι σε πλεόνασμα,

έτσι ώστε να παραμείνει ολόκληρο το σώμα θετικά φορτισμένο. Η διαδικασία είναι απλή: Φέρνουμε σε επαφή την αρνητικά φορτισμένη περιοχή του σώματος με τη Γη ή με άλλο (φορτισμένο θετικά κατά προτίμηση) σώμα. Τα συγκεντρωμένα ηλεκτρόνια θα εγκαταλείψουν το πρώτο σώμα, αφήνοντάς το φορτισμένο συνολικά με θετικά φορτία. Με αντίστοιχη διαδικασία είναι επίσης δυνατή και η αρνητική φόρτιση ενός ολόκληρου σώματος. Υπάρχει περίπτωση να μετακινηθούν αυθόρμητα προς αυτό περισσότερα ηλεκτρόνια από όσα απαιτούνται για την ουδετερότητα.

(Συνιστάται η χρήση του όρου «φόρτιση» στην περίπτωση της μετακίνησης φορτίων από ένα σώμα σε άλλο και της απόκτησης συνολικού ηλεκτρικού φορτίου από το σώμα (π.χ. φόρτιση με τριβή) και του όρου «ηλέκτριση» στην περίπτωση που ένα σώμα αποκτά την ιδιότητα να ασκεί ηλεκτρική δύναμη χωρίς να έχουν μεταφερθεί φορτία σε αυτό από άλλο σώμα ή από αυτό σε άλλο σώμα, επομένως χωρίς συνολικά να έχει αποκτήσει ηλεκτρικό φορτίο (π.χ. ηλέκτριση με επαγωγή).)

το ηλεκτρικό ρεύμα

Συνήθως δύο περιοχές ενός σώματος ή δύο διαφορετικά σώματα που έχουν αντίθετο ηλεκτρικό φορτίο τα χαρακτηρίζουμε ως ηλεκτρικούς πόλους (και μαζί τους χαρακτηρίζουμε ως ηλεκτρικό δίπολο). Η δημιουργία δύο αντίθετων ηλεκτρικών δίπολων είναι δυνατό να προκαλέσει δευτερογενώς ένα άλλο –γνωστό και χαρακτηριστικό– φαινόμενο. Την ομαδική μετακίνηση ηλεκτρονίων από τον αρνητικό πόλο στον θετικό πόλο. Τα μετακινούμενα ελεύθερα ηλεκτρόνια συνιστούν το ηλεκτρικό ρεύμα.

Το πρώτο ερώτημα: τι προκαλεί τη μετακίνηση των ηλεκτρονίων; Η ύπαρξη των δύο αντίθετων φορτίων δημιουργεί δύο αντίθετα ηλεκτρικά πεδία. Το αρνητικό πεδίο (που έχει πηγή το αρνητικό φορτίο) έλκει τα θετικά ιόντα του άλλου, που όμως δεν είναι εύκολο να μετακινηθούν. Το θετικό πεδίο (που έχει ως πηγή το θετικό φορτίο) έλκει τα ηλεκτρόνια που συνιστούν το αρνητικό φορτίο. Με μερικές προϋποθέσεις αυτά είναι δυνατό να μετακινηθούν ομαδικά σχηματίζοντας ηλεκτρικό ρεύμα. Αναφέρουμε ως παραδείγματα μερικές χαρακτηριστικές –και γνωστές– περιπτώσεις που γνωρίσαμε ήδη κατά τη μελέτη της εκφόρτισης σωμάτων με την ομαδική μετακίνηση ηλεκτρονίων: τη ροή ηλεκτρονίων από αρνητικά φορτισμένα σύννεφα σε θετικά φορτισμένα σύννεφα ή τον σπινθήρα μεταξύ των δύο πόλων ενός συσσωρευτή που πλησιάζουν μεταξύ τους,...

Το δεύτερο ερώτημα: για τη δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος απαιτούνται πάντα δύο αντίθετοι ηλεκτρικοί πόλοι; Όχι απαραίτητα. Ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργείται και μεταξύ ενός αρνητικά φορτισμένου σώματος και ενός ηλεκτρικά ουδέτερου σώματος. Η εξήγηση είναι απλή: τα ηλεκτρόνια δεν έλκονται από το ουδέτερο σώμα (αφού είναι ουδέτερο), απωθούνται όμως μεταξύ τους και είναι πιθανό μερικά από αυτά να προτιμήσουν να μετακινηθούν προς το ουδέτερο σώμα. Συχνά προηγείται ηλέκτριση με επαγωγή της πλησιέστερης περιοχής του ουδέτερου σώματος με θετικό φορτίο (όπως εξηγήσαμε προηγουμένως), οπότε η δημιουργία του ηλεκτρικού ρεύματος είναι ευκολότερη. Ως παράδειγμα ας αναφέρουμε τη ροή ηλεκτρονίων από αρνητικά σύννεφα στην ηλε-

κτρικά ουδέτερη Γη (κεραυνός) ή τον σπινθήρα μεταξύ του αρνητικού πόλου του συσσωρευτή με το κύριο σώμα του αυτοκινήτου όταν πλησιάζουν μεταξύ τους...

Ηλεκτρικό ρεύμα όμως συχνά δημιουργείται και μεταξύ ομόσημων ηλεκτρικών πόλων. Αυτό δεν είναι περίεργο. Απλώς ηλεκτρόνια μετακινούνται από τον (συγκριτικά) αρνητικότερο πόλο στον (συγκριτικά) θετικότερο πόλο, είτε και οι δύο πόλοι είναι αρνητικοί είτε θετικοί... Αυτό είναι δυνατό να το διαπιστώσουμε αν, για παράδειγμα, πλησιάσουμε τους ομόσημους πόλους δύο διαφορετικών συσσωρευτών.

Χαρακτηρίσαμε ως πόλους τις πηγές ηλεκτρικών πεδίων που είναι δυνατό να δημιουργήσουν μεταξύ τους ηλεκτρικό ρεύμα. Εκτός όμως της ποιοτικής διαφοροποίησής τους (θετικότεροι ή αρνητικότεροι, συγκριτικά, που μας επιτρέπει να προβλέψουμε τη δυνατότητα ή μη δημιουργίας ηλεκτρικού ρεύματος, αλλιώς και τη φορά των ηλεκτρονίων) χρειαζόμαστε και έναν ποσοτικό χαρακτηρισμό τους (που θα μας επιτρέπει να προβλέψουμε και τον αριθμό των ηλεκτρονίων που θα μετακινηθούν σε δεδομένο χρόνο).

το ηλεκτρικό δυναμικό

Ορίζουμε το ηλεκτρικό δυναμικό για κάθε σημείο των ηλεκτρικών πεδίων, αλλιώς και για κάθε ηλεκτρικό πόλο. Συγκρίνοντας ποιοτικά και ποσοτικά δύο ηλεκτρικούς πόλους ή δύο σημεία ενός ηλεκτρικού πεδίου, μας ενδιαφέρει η διαφορά των ηλεκτρικών δυναμικών ή –όπως συχνά ονομάζουμε αυτή τη διαφορά– η ηλεκτρική τάση μεταξύ τους.

Τη διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού ή ηλεκτρική τάση είναι δυνατό να τη χαρακτηρίσουμε ως «αίτια» δημιουργίας ηλεκτρικού ρεύματος, θεωρώντας το ηλεκτρικό ρεύμα ως το «αιτιατό» ή το αποτέλεσμα, στο σχήμα αιτίου - αιτιατού που συναντάμε συχνά στον φυσικό μας κόσμο.

Ποια είναι, όμως, η φυσική σημασία του ηλεκτρικού δυναμικού ενός πόλου και ποια η φυσική σημασία της διαφοράς δυναμικού ή τάσης μεταξύ δύο πόλων; Η φυσική σημασία τόσο του ηλεκτρικού δυναμικού όσο και της διαφοράς του αφορά στην ενέργεια που απαιτείται ή που αποδίδεται για τη μετακίνηση ορισμένου ηλεκτρικού φορτίου σε δεδομένες αποστάσεις (διηρημένες πάντοτε δια του φορτίου αυτού). Τόσο όμως η περαιτέρω ανάπτυξη της φυσικής τους θεμελίωσης όσο και η ακριβής μαθηματική τους κωδικοποίηση δε μας ενδιαφέρει σε αυτό το επίπεδο. Μας ενδιαφέρει όμως ιδιαίτερα ο συμβολισμός και ο τρόπος μέτρησης της διαφοράς δυναμικού ή τάσης, κυρίως.

Η διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού ή η ηλεκτρική τάση μεταξύ δύο ηλεκτρικών πόλων ή σημείων ενός ηλεκτρικού πεδίου συμβολίζεται με ΔV (όπου Δ σημαίνει διαφορά) και μετράται σε Volts (συμβολικά V).

Πώς ποσοτικοποιείται –και μετράται– το ηλεκτρικό ρεύμα; Ως το ηλεκτρικό φορτίο που μετακινείται μέσω μιας δεδομένης επιφάνειας σε δεδομένο χρόνο (διηρημένο δια του χρόνου αυτού). Συμβολίζεται με I και μετράται σε Ampère (συμβολικά A).

Επιχειρώντας όμως την ποσοτικοποίηση του ηλεκτρικού ρεύματος, αναφερθήκαμε γενικά σε μετακινούμενα ηλεκτρικά φορτία (και όχι σε ηλεκτρόνια). Αλλιώς στα προηγούμενα γνωρίσαμε μόνο μετακινούμενα αρνητικά ηλεκτρόνια και όχι θετι-

κά ιόντα. Είναι δυνατό ηλεκτρικό ρεύμα να συνιστούν τα θετικά ιόντα; Ναι, σε μερικές περιπτώσεις. Στις περιπτώσεις όπου μεταξύ των ηλεκτρικών πόλων υπάρχει ρευστό (υγρό ή αέριο) που έχει αρκετά ελεύθερα ηλεκτρόνια, άρα και θετικά ιόντα. Τότε τα μεν ελεύθερα ηλεκτρόνια του μετακινούνται προς τον θετικό πόλο, ενώ τα θετικά ιόντα μετακινούνται προς τον αρνητικό πόλο. Αυτό το φαινόμενο διαπιστώνεται, για παράδειγμα, κατά την ηλεκτρόλυση υγρών, αλλιώς και στους λαμπτήρες φθορισμού.

Είναι εύλογο τώρα η απορία: πώς στην καθημερινή ζωή το ηλεκτρικό ρεύμα έχει συνδεθεί με τα μέταλλα, όταν στη μέχρι τώρα προσέγγισή μας δεν έχουμε –απαραίτητα– αναφερθεί σε αυτά; Η απάντηση είναι ότι ηλεκτρικό ρεύμα δεν εμφανίζεται μόνο στα μέταλλα. Όμως αυτή είναι η συνθεότερη και χρηστικότερη περίπτωση. Και να γιατί: τα σώματα που χαρακτηρίσαμε ως μέταλλα δεν παρέχουν μόνο ελεύθερα ηλεκτρόνια, αλλιώς –επίσης– τους επιτρέπουν να μετακινούνται σχετικά εύκολα μεταξύ των μορίων τους. Έτσι χρησιμοποιούμε, συνθεότερα, μεταλλικά σύρματα ως οδούς ή «αγωγούς» ηλεκτρονίων, συνδέοντας με αυτά αντίθετα φορτισμένους ηλεκτρικούς πόλους (π.χ. τους πόλους ενός ηλεκτρικού συσσωρευτή). Χαρακτηρίζουμε, μάλιστα, για την ίδια αιτία τα μέταλλα ως «καλούς αγωγούς» του ηλεκτρικού ρεύματος. Ένα μεγάλο ποσοστό του σημερινού τεχνολογικού πολιτισμού μας οφείλεται σε αυτούς...

Επιμένοντας περισσότερο στο ηλεκτρικό ρεύμα που «διαρρέει» μεταλλικούς αγωγούς (λόγω της χρηστικότητας και της καθημερινότητας των εφαρμογών τους), είναι ενδιαφέρον να εξετάσουμε τον τρόπο κίνησης των ελεύθερων ηλεκτρονίων που το δημιουργούν:

Έχει ήδη εξηγηθεί ότι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια των σωμάτων (και των μετάλλων) ισοκατανέμονται σε όλο τον όγκο των σωμάτων, μετακινούμενα διαρκώς ανάμεσα στα άτομα / ιόντα και μόρια. Οι μετακινήσεις τους γίνονται τυχαία προς όλες τις κατευθύνσεις, όταν στο σώμα δεν έχει εφαρμοσθεί διαφορά δυναμικού. Αν μεταξύ δύο σημείων του εφαρμοσθεί μια διαφορά δυναμικού, τότε τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του, χωρίς να σταματήσουν τη διαρκή και τυχαία κίνησή τους προς όλες τις κατευθύνσεις, αποκτούν μια ακόμα συνιστώσα κίνηση από το σημείο με το αρνητικότερο δυναμικό στο σημείο με το θετικότερο δυναμικό. Έτσι, συνολικά, υπάρχει μια «ολίσθηση» των ηλεκτρονίων προς την κατεύθυνση που ορίζει η διαφορά δυναμικού, χωρίς τα ηλεκτρόνια να διακόπτουν τις τυχαίες (θερμικές) κινήσεις τους προς όλες τις κατευθύνσεις (δεν πρόκειται δηλαδή για μία ευθυγραμμισμένη παράλληλη, μεταξύ τους, κίνηση των ηλεκτρονίων...). Αυτά τα ολισθαίνοντα προς μία κατεύθυνση ελεύθερα ηλεκτρόνια συνιστούν το ηλεκτρικό ρεύμα. (Η ταχύτητά τους δεν είναι άπειρη, όπως πολλοί νομίζουν παρατηρώντας την ακαριαία δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος σε όλο το μήκος αγωγού όταν εφαρμοσθεί διαφορά δυναμικού. Απλώς ελεύθερα ηλεκτρόνια υπάρχουν σε όλο τον αγωγό και όλα μαζί αρχίζουν να ολισθαίνουν. Η ταχύτητα ολίσθησης είναι γενικά μικρή, της τάξης των μερικών –το πολύ– χιλιοστών του μέτρου ανά δευτερόλεπτο!)

Εξετάζοντας λεπτομερέστερα την ομαδική αυτή κίνηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων, που συνιστούν ηλεκτρικό ρεύμα σε

μεταλλικό αγωγό, πρέπει να διακρίνουμε κάποιες παραμέτρους της. Η καθοριστικότερη ασφαλώς είναι η διαφορά δυναμικού (αίτιο), που προκαλεί το ηλεκτρικό ρεύμα (αποτέλεσμα). Η τιμή του όμως διαμορφώνεται και από το είδος του μετάλλου, τις διαστάσεις του αλλή και τη θερμοκρασία του. Συγκεκριμένα, το είδος του μετάλλου (δηλαδή ο αριθμός των ελεύθερων ηλεκτρονίων που παρέχει, οι αποστάσεις μεταξύ των ατόμων και μορίων του, καθώς και κάποια άλλα χαρακτηριστικά του) διαμορφώνει τον αριθμό των ελεύθερων ηλεκτρονίων που είναι δυνατό να «ολισθήσουν» υπό την επίδραση του δημιουργούμενου από τη δεδομένη διαφορά δυναμικού ηλεκτρικού πεδίου. Ο αριθμός τους περιορίζεται όσο μεγαλύτερη είναι η διαδρομή που πρέπει να διανύσουν (το μήκος του αγωγού) και όσο μικρότερη είναι η διατομή (το εμβαδόν) του αγωγού. Αυτό είναι αναμενόμενο γιατί έτσι αυξάνεται η πιθανότητα σύγκρουσής τους με κάποια από τα άτομα και μόρια του μετάλλου, επομένως εμποδίζεται η ομαδική κίνησή τους. Η πιθανότητα αυτή, μάλιστα, αυξάνεται όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία του μετάλλου, αφού τότε η ταχύτητα και η απομάκρυνση των μορίων από τις θέσεις ισοδυναμίας τους, λόγω των θερμικών τους κινήσεων, μεγαλώνουν. Όλες αυτές οι παράμετροι (είδος μετάλλου, μήκος και διατομή αγωγού, θερμοκρασία) που διαμορφώνουν την τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από μεταλλικούς αγωγούς χαρακτηρίζονται μαζί ως αντίσταση του αγωγού.

Ειδική αναφορά πρέπει να γίνει επίσης σε μία χαρακτηριστική συμπεριφορά του ηλεκτρικού ρεύματος. Αυτή είναι η επιλογή κάθε φορά της διαδρομής που παρουσιάζει τη μικρότερη «αντίσταση», όταν υπάρχουν εναλλακτικές διαδρομές. Υπενθυμίζουμε δε ότι η ύπαρξη ελεύθερων ηλεκτρονίων κατανεμημένων σε όλο τον όγκο των μετάλλων επιτρέπει την άμεση κάθε φορά επιλογή της. Αυτή η επιλογή της διαδρομής με τη μικρότερη αντίσταση είναι η αιτία του βραχυκυκλώματος. Επίσης, παρόλο που η «ταχύτητα ολίσθησης» των ηλεκτρονίων είναι τις περισσότερες φορές πολύ μικρή, το ηλεκτρικό ρεύμα εμφανίζεται αμέσως σε όλο το μήκος του αγωγού όταν εφαρμόσουμε στα άκρα του διαφορά δυναμικού (βλ. ανάλογο στη ροή του υγρού σε σωλήνα που είναι γεμάτος). Αυτό αποδεικνύει ότι σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα δεν ξεκινούν ηλεκτρόνια από την ηλεκτρική πηγή τα οποία διαρρέουν όλο το μήκος του αγωγού, αλλή τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που βρίσκονται εκ των προτέρων στον μεταλλικό αγωγό αποκτούν την τάση να μετακινηθούν προσανατολισμένα προς τον θετικό πόλο της πηγής. Σημειώνουμε ότι στις συνήθεις εφαρμογές μας ένα μικρό μόνο ποσοστό των ελεύθερων ηλεκτρονίων ολισθαίνει σχηματίζοντας ηλεκτρικό ρεύμα...

δευτερογενή φαινόμενα

Ας εξετάσουμε τώρα μερικά δευτερογενή φαινόμενα (ή αποτελέσματα) του ηλεκτρικού ρεύματος. Τέτοια είναι τα θερμικά, τα ηχητικά και τα οπτικά φαινόμενα που θα εξετάσουμε αμέσως. Τα –επίσης σημαντικά– μαγνητικά φαινόμενα που προκαλεί θα τα εξετάσουμε μετά.

Τα θερμικά φαινόμενα του ηλεκτρικού ρεύματος είναι γνωστά και καθημερινά εκμεταλλεύσιμα. Καθώς τα ελεύθερα ηλεκτρόνια μετακινούνται ομαδικά –συνιστώντας ηλεκτρικό ρεύμα– ανάμεσα από τα μόρια ή τα άτομα ενός σώματος (στερε-

ού, υγρού ή αερίου), τα ηλεκτρόνια αναπόφευκτα πησιάζουν μόρια ή άτομα του υλικού με τα οποία αλληλεπιδρούν (ή «συγκρούονται»). Λόγω αυτών των αλληλεπιδράσεων –με ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις– τα ηλεκτρόνια εκτρέπονται διαρκώς από την πορεία τους, χάνοντας μέρος της κινητικής τους ενέργειας. Αντίθετα, τα μόρια του σώματος κερδίζουν κινητική ενέργεια αυξάνοντας τις τυχαίες κινήσεις τους. Αυτή η αύξηση της κινητικής ενέργειας σημαίνει μακροσκοπικά αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος, που εμφανίζεται θερμότερο. Αν, επιπλέον είναι θερμότερο του περιβάλλοντος, τότε ενέργεια / θερμότητα μετακινείται (με αγωγή ή ακτινοβολία) προς τα περιβάλλοντα σώματα...

Το φαινόμενο παρατηρείται σε όλα τα σώματα που διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα. Χαρακτηριστικές είναι, για παράδειγμα, οι περιπτώσεις της διέλευσης ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από λεπτά μεταλλικά σύρματα (όπως στους ηλεκτρικούς λαμπτήρες πυράκτωσης και στις ηλεκτρικές θερμάστρες) και μέσα από τον ατμοσφαιρικό αέρα (όπως στις αστραπές και στους κεραυνούς). Υπενθυμίζουμε βέβαια ότι στα μεν μέταλλα (όπως και σε όλα τα στερεά σώματα) τα μόρια που τα συγκροτούν είναι δυνατό να κινούνται άτακτα μόνο στις μόνιμες, καθορισμένες από τις θέσεις ισοδυναμίας, περιοχές τους, ενώ στα ρευστά τα μόρια είναι δυνατό να μετακινούνται πιο ελεύθερα.

Στην περίπτωση του βραχυκυκλώματος που αναφέραμε παραπάνω, λόγω της ευκολίας που συναντούν τα ελεύθερα ηλεκτρόνια στη διαδρομή μικρότερης αντίστασης, μεγαλύτερος αριθμός ελεύθερων ηλεκτρονίων κινείται προσανατολισμένα. Αυτό σημαίνει ότι περισσότερα ηλεκτρόνια συγκρούονται με τα θετικά ιόντα, με αποτέλεσμα η κινητική ενέργεια των τελευταίων –και επομένως η θερμοκρασία του σώματος που συγκροτούν– να αυξάνεται. Για τον λόγο αυτό συχνά το βραχυκύκλωμα συνοδεύεται από υπερθέρμανση, ακόμα και ανάφλεξη του κυκλώματος. Από τον κίνδυνο της ανάφλεξης προστατεύει το κύκλωμα η ασφάλεια.

Τα ηχητικά φαινόμενα που προκαλούνται από τη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από τα διάφορα σώματα (στερεά, υγρά, αέρια) γίνονται αντιληπτά σε πολλές περιπτώσεις. Συνθέστερη περίπτωση είναι αυτή της βροντής κατά το φαινόμενο του κεραυνού στον ατμοσφαιρικό αέρα. Συχνά όμως η διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος και μέσα από μέταλλα γίνεται αντιληπτή ηχητικά από ένα χαρακτηριστικό «βόμβο» που τη συνοδεύει. Η εξήγηση είναι απλή, αν, πάλι, ανατρέξουμε στο μικροσκοπικό μοντέλο ερμηνείας. Οι «συγκρούσεις» των ηλεκτρονίων με τα μόρια των σωμάτων αυξάνουν, όπως αναφέραμε, τις κινήσεις των μορίων που υπέστησαν τις συγκρούσεις και τα μετακινούν προσωρινά. Έτσι όμως πησιάζουν περισσότερο στα γειτονικά τους μόρια, δημιουργώντας ένα προσωρινό «πύκνωμα». Στη συνέχεια λόγω των αλληλεπιδράσεών τους (απωστικές δυνάμεις) απομακρύνονται από αυτά, δημιουργώντας ένα προσωρινό «αραίωμα». Τα γειτονικά τους στη συνέχεια μετακινούνται και αυτά, μεταθέτοντας προσωρινά τα παρακείμενά τους. Τα «πυκνώματα» και «αραιώματα» των μορίων, που προκλήθηκαν από τη διέλευση των ηλεκτρονίων, μετακινούνται έτσι διαδοχικά όλο και μακρύτερα προς όλες τις κατευθύνσεις. Αν αυτά τα πυκνώματα και αραιώματα απλώνονται διαρκώς, θα φθάσουν μέσω των μο-

ρίων του αέρα στα αυτιά μας και θα θέσουν σε κίνηση το τύμπανο του αυτιού. Τότε ακούμε ήχο...

Τα οπτικά φαινόμενα του ηλεκτρικού ρεύματος κατά τη διάθεσή του μέσα από τα διάφορα σώματα είναι επίσης γνωστά από τις πάμπολλες χαρακτηριστικές περιπτώσεις όπου είναι εμφανή. Οι «συγκρούσεις» των ηλεκτρονίων με τα μόρια και τα άτομα των σωμάτων αυξάνουν την ενέργεια των μορίων και των ατόμων, που κινούνται πλέον ταχύτερα, όπως έχουμε εξηγήσει. Αλλά και μερικά από τα δέσμια ηλεκτρόνια των ατόμων αυτών προσλαμβάνουν πρόσθετη ενέργεια, που τα αναγκάζει να κινούνται σε μεγαλύτερες πλέον αποστάσεις από τους πυρήνες τους. Αυτή την πρόσθετη ενέργεια, όμως, και τα ηλεκτρόνια και τα άτομα τείνουν να την αποδώσουν και πάλι (σύμφωνα με την αρχή της ελάχιστης ενέργειας, που έχουμε αναφέρει). Την αποδίδουν λοιπόν εκπέμποντάς την σε μικρά ποσά (ή στοιχειώδη ή «πακέτα» ή *quanta*) ενέργειας, τα φωτόνια, όπως τα ονομάζουμε. Τα φωτόνια, που θα μας απασχολήσουν και στη συνέχεια, ανιχνεύονται από τα μάτια μας, προκαλώντας την αίσθηση που μας είναι γνωστή ως φως.

(Σημειώνουμε ότι η μετακίνηση ηλεκτρονίων στον κενό χώρο –και όχι μέσα από κάποιο σώμα– δεν προκαλεί κανένα από τα προαναφερθέντα φαινόμενα...)

τα μαγνητικά φαινόμενα

Τα μαγνητικά φαινόμενα έχουν συνδεθεί στην καθημερινή ζωή με –μεταλλικά– σώματα που έχουν τις γνωστές «μαγνητικές» ιδιότητες: άσκηση ελκτικών ή απωστικών δυνάμεων σε άλλα –μεταλλικά– σώματα που επίσης ονομάζουμε μαγνήτες. Σημειώνουμε βέβαια ότι όλα τα μέταλλα δεν είναι μαγνήτες, αν δε μαγνητισθούν. Διακρίνουμε μάλιστα δύο μαγνητικούς «πόλους» (κατ' αντιστοιχία με τους ηλεκτρικούς), που κατά σύμβαση ονομάζουμε βόρειο και νότιο. Όμως τα μαγνητικά φαινόμενα είναι γενικότερα των μαγνητών και –όπως και οι μαγνήτες– έχουν την αρχή τους (και αυτά) στο ηλεκτρικό φορτίο και όχι σε κάποιο «μαγνητικό» φορτίο αντίστοιχο του ηλεκτρικού (βλ. και Ελεύθερο μικρο-Ανάγνωσμα για τον Μαγνητισμό).

Για την ερμηνεία τους πρέπει να λάβουμε υπόψη μας (και πάλι) τις διαδικασίες του μικρόκοσμου. Ας μελετήσουμε, λοιπόν, γενικότερα τα μαγνητικά φαινόμενα, με αναφορά στον μικρόκοσμο και μάλιστα στα κινούμενα ηλεκτρικά φορτία του.

Η κίνηση –και μόνο– ηλεκτρικών φορτίων (των φορτίων «πηγών») δημιουργεί στον περιβάλλοντα χώρο, εκτός του ηλεκτρικού πεδίου, και ένα μαγνητικό πεδίο. Έτσι ονομάζουμε τον χώρο σε κάθε σημείο του οποίου αν κινηθεί ένα άλλο ηλεκτρικό φορτίο (ή θέσουμε ένα μαγνήτη), θα ασκηθεί επάνω τους δύναμη: ελκτική ή απωστική, ανάλογα με τις συνθήκες.

Τα δημιουργούμενα από την κίνηση ηλεκτρικών φορτίων μαγνητικά πεδία εξαρτώνται τόσο από την πολικότητα (θετική ή αρνητική) και την ποσότητα των ηλεκτρικών φορτίων πηγών, όσο και από την ταχύτητά τους (μέτρο και διεύθυνσή της). Η πολικότητα και η διεύθυνση της κίνησης των φορτίων πηγών καθορίζουν μάλιστα και τη διεύθυνση των ασκούμενων από τα μαγνητικά πεδία δυνάμεων και προσδίδουν στα μαγνητικά πεδία μια κατευθυντικότητα, που χαρακτηρίζεται με τη διάκριση των δύο πόλων που ονομάσαμε συμβατικά βόρειο και νό-

τιο. Ισχύει (και εδώ) η γνωστή παρατήρηση: έληξη μεταξύ ανόμοιων πόλων, άπωση μεταξύ όμοιων.

Αναφερθήκαμε στα κινούμενα –και μόνο– ηλεκτρικά φορτία ως πηγές των μαγνητικών πεδίων. Πρέπει όμως να διευκρινίσουμε ότι πηγές μαγνητικών πεδίων είναι δυνατό να είναι είτε μεμονωμένα κινούμενα ηλεκτρικά φορτία (όπως, για παράδειγμα, μεμονωμένα ηλεκτρόνια ή φορτισμένα σώματα) είτε ομαδικά κινούμενα φορτία (για παράδειγμα, ηλεκτρόνια) ως ηλεκτρικό ρεύμα.

Ας μελετήσουμε ξεχωριστά τις δύο περιπτώσεις της δημιουργίας μαγνητικών πεδίων: από μεμονωμένα κινούμενα ηλεκτρικά φορτία και από ηλεκτρικό ρεύμα.

από μεμονωμένα φορτία

Η κίνηση μεμονωμένων ηλεκτρικών φορτίων, στον μικρόκοσμο ή στον μακρόκοσμο, δημιουργεί μαγνητικά και ηλεκτρικά πεδία. Στον μικρόκοσμο η κίνηση των φορτίων είναι συνεχής, όπως έχουμε αναφέρει επανειλημμένα. Τα ηλεκτρόνια, για παράδειγμα, κινούνται, είτε είναι δέσμια σε άτομα είτε είναι ελεύθερα. Τα μαγνητικά πεδία που δημιουργούν είναι διαρκή και, μάλιστα, πολύ σημαντικά για τον μακρόκοσμο και την καθημερινή μας ζωή.

Στον μακρόκοσμο η κίνηση μεμονωμένων φορτισμένων σωμάτων δημιουργεί επίσης μαγνητικά πεδία. Η κίνησή τους όμως είναι ευκαιριακή και σε σπάνιες περιπτώσεις αυτά τα πεδία είναι αντιληπτά και μετρήσιμα ή έχουν κάποια χρησιμότητα στην καθημερινή ζωή μας.

Τα πρώτα ερωτήματα: τα μαγνητικά πεδία του μικρόκοσμου είναι αντιληπτά στον μακρόκοσμο και ποια είναι η σημασία τους για τη ζωή μας;

Τα μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται από κινήσεις μικροσκοπικών μεμονωμένων φορτίων (π.χ. ηλεκτρονίων) δεν είναι αντιληπτά, τουλάχιστον αμέσως, από τον μακρόκοσμο. Είναι όμως αντιληπτά εμμέσως. Ας εξηγήσουμε πώς:

Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια κινούμενα συνήθως σε τυχαίες, διαρκώς μεταβαλλόμενες κατευθύνσεις δημιουργούν –το καθένα– μικρά, στοιχειώδη μαγνητικά πεδία. Αυτά είναι κατά κανόνα πολύ μικρά για να τα αντιληφθούμε. Εξάλλου αλληλοαναιρούνται, καθώς το καθένα έχει διαφορετικό προσανατολισμό. Μόνο στην περίπτωση που τα ηλεκτρόνια κινούνται (ή ολισθαίνουν) ομαδικά προς μια κατεύθυνση είναι δυνατό να δημιουργήσουν προσθετικά ένα μακροσκοπικά παρατηρήσιμο μαγνητικό πεδίο. Αυτή όμως την περίπτωση θα την εξετάσουμε αναλυτικά πιο κάτω.

Τα δέσμια ηλεκτρόνια των περισσότερων ατόμων κινούνται γύρω από τον πυρήνα με τέτοιο τρόπο, ώστε τα μαγνητικά πεδία που δημιουργούν να αλληλοαναιρούνται. Τα δέσμια ηλεκτρόνια μερικών όμως ατόμων κινούνται με τέτοιο τρόπο, ώστε τα άτομα αυτά (και τα μόρια που συγκροτούν ή και ομάδες μορίων) να δημιουργούν –το καθένα– μικρά, στοιχειώδη μαγνητικά πεδία (σώματα που συγκροτούνται από τέτοια άτομα και μόρια ονομάζονται μαγνητικά σώματα και τέτοια είναι τα περισσότερα μέταλλα). Τα στοιχειώδη μαγνητικά πεδία αυτών των σωμάτων είναι πολύ μικρά για να τα αντιληφθούμε. Εξάλλου, κατά κανόνα, αλληλοαναιρούνται, καθώς το καθένα έχει δύο αντίθετους πόλους με τυχαίες κατευθύνσεις.

Συμβαίνει όμως πολλές φορές οι όμοιοι πόλοι των στοιχειωδών αυτών μαγνητικών πεδίων ενός μαγνητικού σώματος να «προσανατολισθούν», δηλαδή να στοιχισθούν παράλληλα και με την ίδια πολικότητα (βόρειος – νότιος πόλος) προς μία κατεύθυνση. Τότε τα στοιχειώδη μαγνητικά πεδία δεν αλληλοαναιρούνται αλληλά προστίθενται, δημιουργώντας ένα μεγαλύτερο μαγνητικό πεδίο, που είναι δυνατό να είναι αντιληπτό στον μακρόκοσμο. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται μαγνήτιση του σώματος. Τα σώματα που συγκροτούνται από άτομα και μόρια με προσανατολισμένα τα στοιχειώδη μαγνητικά τους πεδία, άρα εμφανίζουν τις γνωστές μαγνητικές ιδιότητες, τα ονομάζουμε μαγνήτες. Όσον αφορά στη χρησιμότητα των μαγνητών στη ζωή μας, αυτή είναι αυτονόητη αληθιά και θα καταδειχθεί στη συνέχεια.

Ανακύπτει τώρα το ερώτημα: ο προσανατολισμός των στοιχειωδών μαγνητικών πεδίων του μικρόκοσμου γίνεται αυθόρμητα ή με εξαναγκασμό; Αν όχι, πώς είναι δυνατό να επιτευχθεί αυτός ο προσανατολισμός;

Αυθόρμητος προσανατολισμός δεν παρατηρείται. Αυτό είναι επακόλουθο μιας βασικής αρχής του φυσικού μας κόσμου, της αρχής της εντροπίας: σύμφωνα με αυτή την αρχή, η φύση ευνοεί τη διαρκή και αυθόρμητη αύξηση της αταξίας (ή εντροπίας) των σωμάτων. Κάθε διαδικασία μείωσης της αταξίας (ή εντροπίας) απαιτεί την προσφορά ενέργειας.

Προσανατολισμός των στοιχειωδών μαγνητικών πεδίων ενός σώματος γίνεται πάντοτε με εξαναγκασμό από ένα εξωτερικό (εκτός του σώματος) μεγαλύτερο μαγνητικό πεδίο που προσφέρει και την απαραίτητη ενέργεια. Αυτόν τον προσανατολισμό των μικροσκοπικών, στοιχειωδών μαγνητικών πεδίων ενός σώματος ονομάσαμε μαγνήτιση του σώματος, αφού του προσδίδει τις χαρακτηριστικές μακροσκοπικές ιδιότητες που περιγράψαμε. Ο προσανατολισμός γίνεται με διάφορους τρόπους, πάντοτε όμως απαιτείται ένα εξωτερικό μεγαλύτερο μαγνητικό πεδίο.

Το απαιτούμενο εξωτερικό μαγνητικό πεδίο είναι δυνατό να είναι το μαγνητικό πεδίο της Γης (στο οποίο θα αναφερθούμε ειδικά στη συνέχεια). Το μαγνητικό πεδίο της Γης είναι δυνατό να προσανατολίσει τα στοιχειώδη μαγνητικά πεδία των ατόμων και μορίων ενός σώματος, όταν το σώμα βρίσκεται σε υγρή κατάσταση (όπως είναι για παράδειγμα η θερμή ηφαιστειακή λάβα). Στερεοποιούμενο το σώμα έχει προσανατολισμένα τα στοιχειώδη αυτά μαγνητικά πεδία, έχει μαγνητισθεί, εμφανίζεται δε πλέον ως μαγνήτης. Τέτοιοι μαγνήτες ονομάζονται φυσικοί μαγνήτες (και βρίσκονται, συνήθως, ως στερεοποιημένη ηφαιστειακή λάβα, όπως ο μαγνητίτης στην ονοματοδότηρια ιωνική πόλη).

Το απαιτούμενο εξωτερικό μαγνητικό πεδίο για τον προσανατολισμό των μικροσκοπικών μαγνητικών πεδίων ενός σώματος, δηλαδή για τη μαγνήτισή του, είναι δυνατό να είναι ένα άηλο μαγνητισμένο σώμα, ένας άηλος μαγνήτης. Μια συνήθης πρακτική είναι η επανειλημμένη μετακίνηση του ενός σώματος παράλληλα και σε μικρή απόσταση από το άηλο, πάντοτε όμως με την ίδια φορά. Έτσι επιτυγχάνουμε τον προσανατολισμό προς την ίδια διεύθυνση και φορά του μεγαλύτερου δυνατού ποσοστού των στοιχειωδών πεδίων του προς μαγνήτιση σώματος (συνήθως το ποσοστό αυτό είναι μικρό).

Το απαιτούμενο εξωτερικό μαγνητικό πεδίο για τη μαγνήτιση ενός σώματος είναι δυνατό να δημιουργηθεί, όμως, και από ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτήν την περίπτωση, που μάλιστα είναι και η πλέον αποτελεσματική και συνήθης στις διάφορες εφαρμογές, θα την εξετάσουμε εκτενέστερα.

από ηλεκτρικό ρεύμα

Μαγνητικά πεδία δημιουργούνται, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, και από τα προς μια κατεύθυνση ομαδικά κινούμενα (ή «ολισθαίνοντα») ηλεκτρικά φορτία, που μακροσκοπικά ονομάζουμε ηλεκτρικό ρεύμα. Τα μαγνητικά αυτά πεδία σχηματίζονται από τη σύνθεση των επιμέρους μαγνητικών πεδίων των κινούμενων ελεύθερων ηλεκτρονίων που συνιστούν το ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτή η διαδικασία μάς δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας μεγάλων μαγνητικών (ή ηλεκτρομαγνητικών) πεδίων ενός ηλεκτρομαγνήτη, στον χώρο και στον χρόνο που επιθυμούμε κάθε φορά, γεγονός που συνετέλεσε σε μεγάλο βαθμό στην ευρύτατη χρήση της.

Φυσικά, τα δημιουργούμενα από ηλεκτροφόρους αγωγούς ηλεκτρικά πεδία διαφέρουν ως προς το εύρος, την ένταση και τη μορφή τους και εξαρτώνται τόσο από την τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος όσο και από το σχήμα τους. Μια συνήθης στις εφαρμογές μορφή τους είναι η σπειροειδής, που ονομάζεται και πηνίο. Στις άκρες του, στους «πόλους» του, ένα ηλεκτροφόρο πηνίο δημιουργεί μαγνητικό πεδίο, που μοιάζει πάρα πολύ με αυτό ενός ραβδόμορφου μαγνήτη.

Η μικροσκοπική μελέτη είναι χρήσιμη στην περίπτωση που στο εσωτερικό ενός ευθύγραμμου πηνίου τοποθετούμε μία μεταλλική ράβδο, τον πυρήνα του ηλεκτρομαγνήτη. Είναι εύκολο να καταλάβουμε και να ερμηνεύσουμε μικροσκοπικά το γιατί: το μαγνητικό πεδίο του πηνίου προσανατολίζει έναν αριθμό στοιχειωδών μαγνητικών πεδίων του μετάλλου, δημιουργώντας ένα νέο μαγνητικό πεδίο, αυτό του πυρήνα. Έτσι προκύπτει προσθετικά ένα σύνθετο, μεγαλύτερο του πρώτου μαγνητικό πεδίο. Συχνά, αντί του ραβδόμορφου πυρήνα χρησιμοποιούνται πυρήνες πεταλοειδούς σχήματος, στους οποίους περιελίσσεται το πηνίο. Τότε οι δύο πόλοι του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου δρουν προσθετικά για την έλξη βαρέων μεταλλικών αντικειμένων.

Ας εξετάσουμε τώρα μερικές χαρακτηριστικές μακροσκοπικές ιδιότητες των μαγνητών και ας τις εξηγήσουμε μικροσκοπικά.

Ένας μαγνήτης –και γενικότερα ένα μαγνητικό πεδίο– έλκει γενικά και ένα μη μαγνητισμένο σώμα, αν αυτό είναι μαγνητικό. Πώς γίνεται αυτό; Κατ' αρχήν το μαγνητικό πεδίο του αρχικού μαγνήτη μαγνητίζει το δεύτερο σώμα, προσανατολίζοντας έναν αριθμό στοιχειωδών μαγνητικών πεδίων του με τέτοιο προφανώς τρόπο, ώστε τα γειτονικά άκρα των –δύο πλέον– μαγνητών να έχουν αντίθετη πολικότητα. Τότε πλέον έλκονται.

Όλα τα μαγνητικά σώματα μαγνητίζονται το ίδιο εύκολα και στον ίδιο βαθμό; Όχι, βέβαια. Αυτό εξαρτάται τόσο από τα στοιχειώδη μαγνητικά τους πεδία (που με τη σειρά τους εξαρτώνται από τη δομή των ατόμων και μορίων τους), όσο και από τις μεταξύ των ατόμων και μορίων δυνάμεις και την «ελευθερία» κίνησής τους. Μεταλλικά σώματα που μακροσκοπικά εμφανίζονται ως «μαλακά» μαγνητίζονται (αληθιά και απομαγνητίζονται) εύκολα και σε μεγάλο βαθμό, σε αντίθεση με αυτά που εμφανίζονται ως «σκληρά» (π.χ. χάλυβας). Αντίστοιχα, οι

μαγνήτες που δημιουργούνται από αυτά συμπεριφέρονται ως περισσότερο ή λιγότερο «προσωρινοί» ή, αντίθετα, «μόνιμοι». Γνωρίσαμε τρόπους μαγνήτισης των σωμάτων. Υπάρχουν και τρόποι απομαγνήτισης; Κατ' αρχήν η απομαγνήτιση μαγντών είναι μια αυθόρμητη διαδικασία, σύμφωνα με αυτά που αναφέραμε προηγουμένως περί εντροπίας. Η διαδικασία απομαγνήτισης όμως ενός σώματος ευνοείται από την ύπαρξη των θερμικών κινήσεων των σωματιδίων του μικρόκοσμου, επιταχύνεται δε από την αύξηση της θερμοκρασίας αλλιά και από κτυπήματα στο σώμα (για προφανείς λόγους). Ταχεία απομαγνήτιση επιτυγχάνεται βέβαια και από τη γειννίαση του σώματος με τυχαία μεταβαλλόμενο (κατά μέτρο ή και διεύθυνση) μαγνητικό πεδίο. Η ταχεία απομαγνήτιση (ή μαγνήτιση) ενός σώματος συνοδεύεται συχνά από κρότους (!), που είναι ακουστοί με ενισχυτικές διατάξεις, αποδεικνύουν δε εμμέσως τη διαδικασία αποπροσανατολισμού (ή προσανατολισμού) των στοιχειωδών μαγνητικών πεδίων των σωμάτων.

η ηλεκτρομαγνητική επαγωγή από τον ηλεκτρισμό στον μαγνητισμό – από τον μαγνητισμό στον ηλεκτρισμό

Η κοινή «πηγή» –το ηλεκτρικό φορτίο– τόσο του ηλεκτρικού όσο και του μαγνητικού πεδίου οδηγεί στην κοινή μελέτη τους και στη θεώρησή τους ως εκφάνσεις του ίδιου

ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Αυτή η ενοποίηση εκφράζεται και από την κοινή ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση ή δύναμη που τα ορίζει. Πέραν όμως της κοινής πηγής και αλληλεπίδρασης, υπάρχουν και σχέσεις αλληλεξάρτησης και «επαγωγής» μεταξύ τους. Ηλεκτρικό πεδίο είναι δυνατό να δημιουργήσει (και) μαγνητικό πεδίο, ενώ μαγνητικό πεδίο είναι δυνατό να δημιουργήσει (και) ηλεκτρικό πεδίο. Αυτό το φαινόμενο ονομάζουμε ηλεκτρομαγνητική επαγωγή.

Μεταβαλλόμενο –και μόνο– ηλεκτρικό πεδίο ή / και κινούμενα ηλεκτρικά φορτία (ή ηλεκτρικό ρεύμα) δημιουργούν μαγνητικό πεδίο. Μεταβαλλόμενο –και μόνο– μαγνητικό πεδίο δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο.

Τόσο η θεωρητική κωδικοποίηση όσο και οι εφαρμογές των ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων θεωρούνται σήμερα ως ένας θρίαμβος της ανθρώπινης νόησης και εφευρετικότητας.

Η ηλεκτρομαγνητική επαγωγή –όπως κωδικοποιείται από τις εξισώσεις Maxwell– θεωρείται ως η πλήρης πλήρης θεωρία που έχει διατυπώσει έως τώρα ο άνθρωπος.

Αντίστοιχα οι εφαρμογές της –συμπεριλαμβανομένων και των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που προέβλεψε– είχαν (και έχουν) ανεκτίμητη συμβολή στη διαμόρφωση του τεχνολογικού πολιτισμού του 20ου αιώνα.

τα Κυματικά Φαινόμενα – ο Ήχος και το Φως

Κύμανση ή κύμα ονομάζουμε κάθε «διαταραχή» μιας φυσικής ποσότητας η οποία μεταφέρει ενέργεια στον χώρο και διαδίδεται με σταθερή ταχύτητα.

Μια τέτοια διαταραχή είναι η προσωρινή αλληλαγή της απόστασης των σωματιδίων / μορίων των σωμάτων (στερεών, υγρών ή αερίων) από τις όποιες θέσεις κατείχαν κάποια χρονική στιγμή. Διαδοχικά αυτή η διαταραχή μεταφέρεται σε γειτονικά σωματίδια, λόγω των αλληλεπιδράσεών τους. Αυτή τη διαταραχή ονομάζουμε μηχανικό κύμα.

Μια τέτοια διαταραχή, επίσης, είναι η προσωρινή αλληλαγή της έντασης του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου σε διαδοχικά σημεία του χώρου (είτε του κενού χώρου είτε στο εσωτερικό σωμάτων) σε διαδοχικές χρονικές στιγμές. Αυτή τη διαταραχή ονομάζουμε ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

Τόσο όσον αφορά στα μηχανικά κύματα όσο και στα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, πρέπει να σημειώσουμε εμφαντικά ότι δε μεταφέρουν μάζα ή ηλεκτρικά φορτία αντίστοιχα, αλλιά ενέργεια (και μόνο).

Για τη μελέτη και κατανόηση όμως των κυμάνσεων ή κυμάτων πρέπει να γνωρίσουμε πρώτα την έννοια της ταλάντωσης. Στη γενικότερη δυνατή προσέγγιση, ονομάζουμε ταλάντωση μιας φυσικής ποσότητας τη συνεχή μεταβολή των τιμών της γύρω από μία μηδενική (κατά σύμβαση) τιμή, με μια μέγιστη (άνω του μηδενός) και ελάχιστη (κάτω του μηδενός) τιμή που παίρνει περιοδικά. (Συχνά ταλάντωση θεωρούμε μόνο τη γνωστή κίνηση του εκκρεμούς). Την αναζήτηση των ταλάντωσης βέβαια στα κύματα πρέπει να την κάνουμε στον μικρόκοσμο.

Στην περίπτωση των μηχανικών κυμάτων πρόκειται για ταλάντωσης των απομακρύνσεων των σωματιδίων / μορίων του σώματος από τη θέση που κατείχαν κάποια αρχική χρονική στιγμή. Οι ταλάντωσης φαίνεται να «μεταδίδονται» από σωματίδιο σε σωματίδιο. Στην πραγματικότητα μεταδίδεται κινητική ενέργεια των σωματιδίων / μορίων μέσω των αλληλεπιδράσεών τους με τα γειτονικά τους.

Στην περίπτωση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων πρόκειται για ταλάντωσης των εντάσεων του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου σε διαδοχικά σημεία του χώρου. Οι ταλάντωσης εδώ δε φαίνονται, μπορούμε όμως να τις φαντασθούμε σαν να «μεταδίδονται» από σημείο σε σημείο. Στην πραγματικότητα, και εδώ, μεταδίδεται ενέργεια (ενέργεια του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου).

Και στις δύο περιπτώσεις υπάρχει μια χρονική καθυστέρηση της ταλάντωσης σε κάθε σημείο σε σχέση με τα σημεία που προηγήθηκαν ταλαντούμενα. Έτσι, η διαταραχή, που συνήθως προέρχεται από κάποια εστία ή «πηγή» όπου έδρασε κάποιο εξωτερικό αίτιο, διαδίδεται προς όλες τις δυνατές κατευθύνσεις ως κύμανση ή κύμα.

Η μικροσκοπική διαδικασία της ταλάντωσης γύρω από κάποιες τιμές μιας φυσικής ποσότητας των σωματιδίων ενός σώματος ή των σημείων του χώρου εμφανίζεται μακροσκοπικά ως μια «οδεύουσα» διαταραχή ή κύμανση που μεταφέρει ενέργεια από την πηγή της προς όλες τις δυνατές κατευθύνσεις. Η ταλάντωση είναι δυνατό να είναι συνεχής ή / και περιοδική, οπότε και η αντίστοιχη κύμανση θα είναι συνεχής ή / και περιοδική. Διάκριση πρέπει επίσης να κάνουμε

και μεταξύ της ταχύτητας ταλάντωσης και της ταχύτητας διάδοσης της κύμανσης.

Αν το εξωτερικό αίτιο που προκαλεί τις μικροσκοπικές ταλαντώσεις δράσει στιγμιαία, τότε η διαταραχή εμφανίζεται μακροσκοπικά ως μια ασυνεχής κύμανση, που συνήθως ονομάζουμε κυματοπαλήμο. Διαδοχικοί κυματοπαλήμοι συνιστούν κυματοσυρμούς.

Αν το εξωτερικό αίτιο που προκαλεί τις μικροσκοπικές ταλαντώσεις δρα συνεχώς, τότε η διαταραχή εμφανίζεται μακροσκοπικά ως μια συνεχής κύμανση ή κύμα, όπως ονομάζεται γενικά.

Στην περίπτωση που το εξωτερικό αίτιο δρα συνεχώς και –επίπλέον– με περιοδικότητα (δηλαδή σε σταθερά χρονικά διαστήματα ή περιόδους, οπότε οι ταλαντώσεις που προκαλεί είναι «αρμονικές»), τότε η διαταραχή εμφανίζεται μακροσκοπικά ως μια συνεχής και αρμονική κύμανση ή αρμονικό κύμα, όπως και την ονομάζουμε.

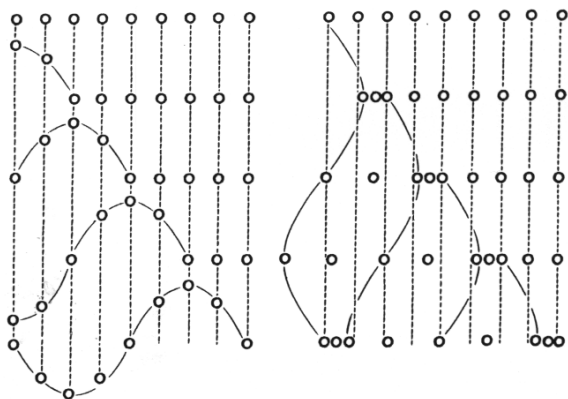


Ποια είναι όμως η διάκριση μεταξύ της ταχύτητας ταλάντωσης και της ταχύτητας διάδοσης; Η ταχύτητα ταλάντωσης αφορά στην ταχύτητα (ή, ακριβέστερα, στη συχνότητα) ταλάντωσης της φυσικής ποσότητας σε μικροσκοπικό επίπεδο. Αντίθετα, η ταχύτητα διάδοσης αφορά στην ταχύτητα με την οποία οδεύει η διαταραχή όπως την παρατηρούμε στον μακρόκοσμο.

τα μηχανικά κύματα

Τα μηχανικά κύματα είναι γνωστά και οικεία όχι μόνο από τα αποτελέσματά τους αλλά και από την ίδια την «οδεύουσα» διαταραχή που τα συνιστά. Όλοι έχουμε την εμπειρία της παρατήρησης κυμάτων που ταξιδεύουν στην επιφάνεια υγρών ή κατά μήκος ελατηρίων, πέραν της εμπειρίας της δράσης τους στο τέλος της διαδρομής τους. Μάλιστα, και από αυτές και μόνο τις δύο χαρακτηριστικές περιπτώσεις μπορούμε να παρατηρήσουμε τον τρόπο με τον οποίο ταλαντώνονται τα σωματίδια που τα συνιστούν σε σχέση με την κατεύθυνση του κύματος και να διακρίνουμε δύο είδη κυμάτων:

- τα εγκάρσια μηχανικά κύματα, των οποίων τα σωματίδια ταλαντώνονται κάθετα προς την κατεύθυνση που οδεύει το κύμα, και
- τα διαμήκη μηχανικά κύματα, των οποίων τα σωματίδια ταλαντώνονται παράλληλα με την κατεύθυνση που οδεύει το κύμα.



Χαρακτηριστική περίπτωση εγκάρσιου μηχανικού κύματος είναι το κύμα που διακρίνουμε για παράδειγμα κατά μήκος μιας μακράς και λεπτής στερεάς ράβδου, ή στην επιφάνεια ενός υγρού σώματος, αν κτυπήσουμε κάθετα τη μία άκρη της ράβδου ή βυθίσουμε κάθετα το χέρι μας σε ένα σημείο της υγρής επιφάνειας. Το κύμα που δημιουργείται οδεύει κατά μήκος της στερεάς ράβδου ή της υγρής επιφάνειας, ενώ εμφανώς τα σωματίδια από τα οποία συνίστανται τόσο η στερεά ράβδος όσο και το υγρό ταλαντώνονται κάθετα προς την κατεύθυνση του κύματος. Μάλιστα, μπορούμε να έχουμε και μια πρώτη απόδειξη αυτής της κάθετης κίνησης και της μη μεταφοράς μάζας από το κύμα, μαρκάροντας με χρώμα ένα σημείο της ράβδου ή τοποθετώντας ένα μικρό σώμα που επιπλέει σε ένα σημείο της επιφάνειας του υγρού. Η κάθετη προς την κατεύθυνση του κύματος κίνησή τους είναι εμφανής και παρατηρήσιμη, ενώ δεν παρατηρούμε μετακίνησή τους...

Ένα ερώτημα: εγκάρσια μηχανικά κύματα δημιουργούνται και στα αέρια σώματα, εκτός των στερεών και υγρών (στις επιφάνειές τους) σωμάτων; Όχι, κατά κανόνα. Εγκάρσια μηχανικά κύματα δημιουργούνται μόνο στα στερεά και υγρά σώματα και μάλιστα μόνο στις επιφάνειές τους (ή, ειδικά, σε λεπτές στερεές ράβδους).

ο ήχος

Χαρακτηριστική περίπτωση διαμήκους μηχανικού κύματος είναι το ηχητικό κύμα, που, οδεύοντας στις περισσότερες περιπτώσεις μέσα στον ατμοσφαιρικό αέρα, γίνεται αντιληπτό με τη βοήθεια των αντίστοιχων αισθητήριων οργάνων μας. Με (ηχητική) «πηγή» πάντοτε ένα γρήγορα ταλαντούμενο σώμα (μια ταλαντούμενη ράβδος ή τις φωνητικές μας χορδές, για παράδειγμα) δημιουργούμε διαταραχές στον αέρα («πυκνώματα» και «αραιώματα»). Αυτές προκύπτουν από τις ταλαντώσεις που προκαλεί η ταλαντούμενη «πηγή» στα μόρια του αέρα. Αυτές οι ταλαντώσεις ή διαταραχές διαδίδονται ή οδεύουν προς όλες τις κατευθύνσεις, από μόριο σε μόριο, ως κύμα. Φθάνοντας στο αυτί μας δημιουργούν αυξομειώσεις της πίεσης (αύξηση τα πυκνώματα, μείωση τα αραιώματα), που θέτουν με τις δυνάμεις που προκαλούν σε αντίστοιχη ταλάντωση το «τύμπανο» του αυτιού μας και γίνονται αντιληπτές ως «ήχος». Στα ηχητικά κύματα που οδεύουν στα αέρια σώματα οι ταλαντώσεις των μορίων γίνονται, κατά κανόνα, παράλληλα προς την κατεύθυνση του κύματος, αν και αυτή η κίνησή τους δεν είναι δυνατό να παρατηρηθεί αμέσως. Η συχνότητα των ταλαντώσεων προσδίδει στον ήχο το αντίστοιχο χαρακτηριστικό του γνώρισμα, ενώ το πλάτος των ταλαντώσεων την ένταση του ήχου (βλ. και Ελεύθερο μικρο-Ανάγνωσμα για τον ήχο)

Ένα ερώτημα: διαμήκη μηχανικά κύματα δημιουργούνται μόνο στα αέρια σώματα ή και στα στερεά και υγρά; Βεβαίως δημιουργούνται και στα στερεά και υγρά σώματα. Πειραματισθείτε εύκολα με ένα οποιοδήποτε στερεό σώμα, κτυπώντας το παράλληλα προς την κατεύθυνση προς την οποία, σε άλλο σημείο του, έχετε ακουπήσει το αυτί σας. Ο ήχος μάλιστα φθάνει ευκρινέστερος και εντονότερος από ό,τι μέσω του αέρα. Ή ακούστε τους ήχους που προκαλούνται μέ-

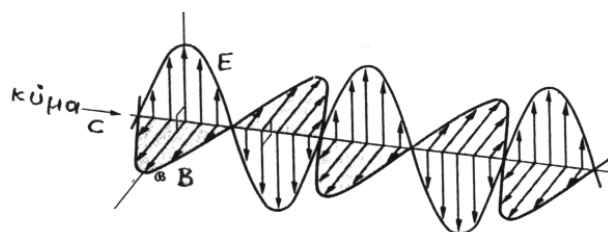
σα στο νερό από τις κινήσεις άλλων κοίλυμπτών ή την προπέλα κάποιου πλοίου, καθώς κοίλυμπάτε κάτω από το νερό...

Μια εύκολη απόδειξη του ισχυρισμού μας ότι τα μηχανικά κύματα (εγκάρσια και διαμήκη), ενώ δε μεταφέρουν μάζα, μεταφέρουν ενέργεια γίνεται (και) με έναν απλό πειραματισμό: τοποθετήστε μικρά και ελαφρά σώματα επάνω α/ σε μια στερεά ράβδο, β/ σε μια επιφάνεια υγρού, ώστε να επιπλήουν, γ/ σε κάποιο σημείο της ατμόσφαιρας, και δημιουργήστε κοντά τους εγκάρσια ή διαμήκη κύματα, όπως στα προηγούμενα παραδείγματα. Τα κύματα τα θέτουν σε κίνηση, προσδίδοντάς τους προφανώς κινητική ενέργεια. Πρόκειται για μέρος της κινητικής ενέργειας που προσφέρουμε κτυπώντας τη ράβδο ή την υγρή επιφάνεια ή ενεργοποιώντας την ηχητική πηγή αντίστοιχα... Οι μικροσκοπικές ταλαντώσεις των σωματιδίων / μορίων των σωμάτων δε γίνονται πάντα άμεσα αντιληπτές, αλλά εμμέσως από τα αποτελέσματά τους στον μακρόκοσμο.

Ένα ερώτημα: ποια είναι η συνήθης ταχύτητα διάδοσης των μηχανικών (εγκάρσιων ή διαμήκων) κυμάτων στα διάφορα σώματα; Αν και διαφέρει αρκετά κατά περίπτωση, μπορούμε να μιλήσουμε γενικά για μερικές εκατοντάδες μέτρα το δευτερόλεπτο (η ταχύτητα του ήχου στον αέρα είναι σε κανονικές συνθήκες περίπου 340 μέτρα το δευτερόλεπτο). Στα στερεά είναι γενικά μεγαλύτερη από ό,τι στα υγρά και στα αέρια, καθώς τα σωματίδια που συγκροτούν ένα στερεό σώμα βρίσκονται σε κοντινότερες αποστάσεις μεταξύ τους και αλληλεπιδρούν με μεγαλύτερες δυνάμεις, με αποτέλεσμα να διαδίδεται ταχύτερα η διαταραχή.

τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι γνωστά από τα αποτελέσματα και τις χρήσεις τους και όχι από την παρατήρηση της ίδιας της «οδεύουσας» διαταραχής που τα συνιστά. Υπενθυμίζουμε ότι πρόκειται για διαταραχή ή ταλάντωση των τιμών των εντάσεων του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου. Μια τέτοια διαταραχή δεν είναι μετρήσιμη από τα αισθητήρια όργανά μας. Η ενέργεια όμως που μεταφέρει ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι δυνατό να έχει πολλή και διαφορετικά, με ποικίλες χρήσεις, αποτελέσματα. Σημειώνουμε πάντως πως οι ταλαντούμενες εντάσεις του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου που δημιουργούν ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι κάθετες τόσο μεταξύ τους όσο και στην κατεύθυνση διάδοσης της ενέργειας. (Από αυτήν την άποψη θα μπορούσαμε να μιλάμε για εγκάρσια –και μόνο– ηλεκτρομαγνητικά κύματα).



«Πηγή» των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι (και πάλη) το ηλεκτρικό φορτίο, όταν (και μόνο τότε) επιταχύνεται ή επιβραδύνεται.

το φως

Η χαρακτηριστικότερη περίπτωση ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι το φωτεινό κύμα ή φως. Αν και τόσο γνωστό και οικείο, κανείς ερευνητής δεν έφθασε ποτέ με την εμπειρική παρατήρηση –και μόνο– στη σύνδεσή του με το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο. Μόλις στα μέσα του 19ου αιώνα η μαθηματική επεξεργασία των εξισώσεων Maxwell – που ήδη αναφέραμε – υπέβαλε την υπόθεση της ύπαρξης τέτοιων κυμάτων και προέβλεψε τη δημιουργία τους από επιτάχυνση ή επιβράδυνση ηλεκτρικών φορτίων. Υπολόγισε μάλιστα και την ταχύτητά τους ίση με 300.000 km/sec περίπου, όση η ταχύτητα του φωτός στο κενό. Η ύπαρξή τους επιβεβαιώθηκε αργότερα πειραματικά. (Εδώ μάλιστα μπορούμε να ακολουθήσουμε και τα βήματα της επιστημονικής μεθόδου: έλθουμε από τις μαθηματικές σχέσεις, διατύπωση υποθέσεων με βάση τη μορφή τους, επιβεβαίωση με πειραματισμό, διατύπωση της θεωρίας, συνεχής έκτοτε έλεγχος / συνεχής επιβεβαίωση.)

Η διαδικασία παραγωγής του ηλεκτρομαγνητικού κύματος που αντιλαμβανόμαστε ως φως παραπέμπει στον μικρόκοσμο. Έχουμε εξηγήσει ότι προσφορά ενέργειας σε άτομα (με «συγκρούσεις» ηλεκτρονίων, για παράδειγμα, ή άλλους τρόπους) είναι δυνατό να αναγκάσει κάποια από τα ηλεκτρόνια τους να κινούνται σε μεγαλύτερες από πριν αποστάσεις από τους πυρήνες. Σε μεγαλύτερες από τους πυρήνες αποστάσεις η ενέργεια των ηλεκτρονίων είναι μεγαλύτερη, τα δε άτομα θεωρούνται «διηγερμένα». Σύμφωνα όμως με τη (γνωστή μας) αρχή της ελάχιστης δυνατής ενέργειας, που προτιμά η φύση, τα άτομα αυτά τείνουν να αποδιεγερθούν αυθόρμητα, με την επιστροφή των ηλεκτρονίων τους στις πρότερες καταστάσεις. Αυτό συνεπάγεται την αλληγή της ταχύτητας των ηλεκτρονίων και βέβαια την ελάττωση της ενέργειάς τους. Η ενέργεια που αποδεσμεύεται εκπέμπεται ως ηλεκτρομαγνητικό κύμα (σύμφωνα με όσα έχουμε αναφέρει για την «πηγή» των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων). Αν το ηλεκτρομαγνητικό αυτό κύμα είναι δυνατό να «ανιχνευθεί» από τα μάτια μας, τότε το ονομάζουμε (και) φωτεινό κύμα ή φωτεινή ακτινοβολία ή φως.

Εκτός του φωτός, όμως, η διαδικασία της επιτάχυνσης (ή επιβράδυνσης) ηλεκτρικών φορτίων δημιουργεί και άλλα (μη ανιχνεύσιμα από τα μάτια μας) ηλεκτρομαγνητικά κύματα.

Συνήθη ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι αυτά που σήμερα χρησιμοποιούνται ευρύτατα για τις τηλεπικοινωνίες μας (ραδιοφωνικά, τηλεοπτικά κ.λπ.). Η παραγωγή τους γίνεται συνήθως με τον εξαναγκασμό των ελεύθερων ηλεκτρονίων μετάλλων σε παλινδρομική κίνηση (ή «ταλάντωση»). Η απαιτούμενη ενέργεια και ο ρυθμός ταλάντωσής τους δίνονται από ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές διατάξεις, που γενικά ονομάζουμε «πομπούς», ενώ η ταλάντωση γίνεται σε μεταλλικούς αγωγούς, που ονομάζουμε «κεραίες». Η ταχύτητα όμως των ηλεκτρονίων κατά την ταλάντωσή τους είναι διαρκώς μεταβαλλόμενη (επιταχυνόμενη και επιβραδυνόμενη κίνηση). Σύμφωνα με όσα έχουμε αναφέρει, αυτό συνεπάγεται την παραγωγή και εκπομπή ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Τα ηλεκτρομαγνητικά αυτά κύματα ανιχνεύουμε (και ενισχύουμε) με ηλεκτρικές και η-

ηλεκτρονικές διατάξεις, που ονομάζουμε «δέκτες» (και «ενισχυτές»). Οι δέκτες στη συνέχεια παράγουν μηχανικά (ηχητικά) κύματα.

Μια ερώτηση: ποια είναι τα χαρακτηριστικά των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που επιτρέπουν τη διάκρισή τους από τις διάφορες ανιχνευτικές διατάξεις που χρησιμοποιούνται (αλλά και τη διάκρισή τους σε κατηγορίες: φως, ραδιοφωνικά, μικροκύματα,...);

Χαρακτηριστική παράμετρος των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (όπως και των μηχανικών) είναι η συχνότητα.

Αντί της συχνότητας ορίζουμε επίσης το μήκος κύματος, που συνδέεται με σχέση αντιστρόφως ανάλογη με τη συχνότητα: το γινόμενο τους μας δίνει την ταχύτητα του κύματος. Η συχνότητα (ή το μήκος κύματος) επίσης συνδέεται με την ενέργεια του κύματος.

Μια άλλη ερώτηση: πώς αντιλαμβανόμαστε την ενέργεια που μεταφέρουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα; Με διάφορους τρόπους. Από τη θερμότητα που μεταφέρει το φως στις επιφάνειες όπου προσπίπτει, ανεβάζοντας τη θερμοκρασία τους. Από την κίνηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων στις κεραίες των «δεκτών» στις οποίες προσπίπτουν ραδιοφωνικά ή άλλα κύματα, δημιουργώντας το ηλεκτρικό «σήμα», που μετατρέπεται σε ηχητικό... Από τη θερμότητα που αποθέτουν τα μικροκύματα (ηλεκτρομαγνητικά κύματα με μικρό μήκος κύματος και μεγάλη συχνότητα) σε ό,τι τοποθετούμε στους αντίστοιχους φούρνους μικροκυμάτων (τα μικροκύματα δεν αποθέτουν την ενέργειά τους μόνο στην ε-

πιφάνεια των σωμάτων όπου προσπίπτουν, αλλά εισχωρώντας λόγω του μικρού τους μήκους κύματος στο εσωτερικό πολλών σωμάτων αποθέτουν και εκεί ενέργεια / θερμότητα).

Μια ακόμη ερώτηση: ποια είναι η ταχύτητα διάδοσης των διάφορων ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων; Η ταχύτητα διάδοσής τους είναι κοινή στον κενό χώρο: 300.000 km/sec περίπου, ενώ διαφοροποιείται ελαφρά μέσα σε υλικά σώματα. Η ταχύτητα αυτή είναι μια «παγκόσμιος σταθερά», αφού φαίνεται να είναι अपαράβata σταθερή, η ίδια σε όλο το σύμπαν μας και συγχρόνως η μεγαλύτερη δυνατή ταχύτητα που παρατηρείται σε αυτό.

Εστιάζοντας στα ηλεκτρομαγνητικά κύματα πρέπει να αναφερθούμε και σε μια άλλη –πέραν της ταχύτητάς τους– ιδιαιτερότητα. Αυτή του δυϊσμού τους. Με αυτόν τον όρο αποδίδουμε το φαινόμενο της εμφάνισής τους με δύο (ισοδύναμες) «μορφές» ή εκφάνσεις:

- την κυματική (ως κύματα), και

- τη σωματιδιακή (ως σωματίδια, που ονομάζουμε φωτόνια).

Η περαιτέρω μελέτη των δύο αυτών εκφάνσεων των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ή (ισοδύναμα) των φωτονίων εκφεύγει του σκοπού του παρόντος. Όμως πρέπει να σημειώσουμε ότι το φαινόμενο αυτό συνδέεται γενικότερα με την προαναφερθείσα ταχύτητα διάδοσής τους και δεν παρουσιάζεται μόνο στην περίπτωση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων – φωτονίων. Ηλεκτρόνια που κινούνται με ταχύτητες που την πλησιάζουν παρουσιάζονται επίσης με δυϊκή εμφάνιση...

η Ενέργεια

Εξετάζουμε τελευταία, εδώ, τα φαινόμενα που συνδέονται με μια από τις θεμελιωδέστερες φυσικές έννοιες και ποσότητες του κόσμου μας, την ενέργεια. Όμως από φυσική, χρηστική / τεχνολογική, περιβαλλοντική, φιλοσοφική αλλά και εκπαιδευτική άποψη θα έπρεπε να προτάξουμε τη μελέτη της.

Από φυσική άποψη, γιατί από αυτήν την πρωταρχική φυσική ποσότητα, της οποίας μέρος μεταμορφώθηκε σε μάζα, προέκυψε ο φυσικός μας κόσμος, όπως τον γνωρίζουμε, και σε αυτήν οφείλεται κάθε αλλαγή που παρατηρούμε σε αυτόν.

Από χρηστική / τεχνολογική άποψη, γιατί αυτή μας συντηρεί στη ζωή, μας αναπτύσσει και μας θερμαίνει, μας επιτρέπει να κινούμαστε και να παράγουμε έργο, αλλά και με τις ενεργειακές μετατροπές, που επιτυγχάνει σε μεγάλη κλίμακα η σύγχρονη τεχνολογία, μας εξασφαλίζει το σημερινό επίπεδο της ζωής μας (όσον αφορά στον επιστισμό, στον φωτισμό και στη θέρμανση, στις μεταφορές, στις τηλεπικοινωνίες,...).

Από περιβαλλοντική άποψη, γιατί οι ενεργειακές μετατροπές, οι ενεργειακές τεχνολογίες και ο ενεργειακός υπερκαταναλωτισμός του σημερινού τρόπου ζωής μας δημιουργούν ένα κρίσιμο ενεργειακό πρόβλημα (που αφορά στην επάρκεια της διαθέσιμης ενέργειας στο μέλλον), αλλά και δευτερογενώς ένα κρίσιμο περιβαλλοντικό πρόβλημα (που

αφορά στην επιβάρυνση του περιβάλλοντος με χημικούς, ηλεκτρομαγνητικούς, ηχητικούς, αισθητικούς,... ρύπους).

Από φιλοσοφική άποψη, γιατί αναγνωρίζουμε την ενέργεια ως «αρχή» και ως «τέλος» του φυσικού μας κόσμου, παρόλο που οι δυσκολίες για την κατανόησή της φαίνονται ανυπέρβλητες...

Από εκπαιδευτική –τέλος– άποψη, γιατί η ενέργεια είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί για την ανάδειξη της συνεκτικότητας του κόσμου μας κάτω από λίγες και βασικές έννοιες και αρχές, παρόλο που οι γνωστικές δυσκολίες είναι γνωστές, τουλάχιστον στους εκπαιδευτικούς που επιχειρούν να τη διδάξουν.

Η ενέργεια, όπως και η μάζα, η απόσταση, ο χρόνος, το ηλεκτρικό φορτίο,..., είναι μια φυσική ποσότητα, μια ποσότητα δηλαδή που είναι δυνατό να μετρηθεί.

Αυτό σημαίνει: να συγκριθεί και να αποδοθεί με τη βοήθεια αριθμών (η «θύπη» ή η «χαρά», για παράδειγμα, δεν είναι δυνατό να εκφραστούν με αριθμούς, δεν είναι φυσικές ποσότητες), αλλά και να συσχετισθεί με άλλες φυσικές ποσότητες μέσω μαθηματικών σχέσεων.

Όμως, αν με τη μάζα (για παράδειγμα) έχουμε μια άμεση, απτή εμπειρική σχέση και όταν ακόμη αυτή δε μετέχει σε οποιαδήποτε μετακίνηση ή αλλαγή, αντίθετα η ενέργεια γίνεται αντιληπτή μόνο κατά τη μεταφορά της ή τις μετατροπές της.

Παρατηρούμε, πράγματι, ότι η φυσική ποσότητα ενέργεια, είτε όταν αποθηκεύεται είτε όταν μεταφέρεται, είναι έτοιμη να προκαλέσει μεταβολές / αλληλαγές, αν (και όταν) οι συνθήκες και οι φυσικοί νόμοι το επιτρέπουν.

Ένα σώμα, για παράδειγμα, που ακινητεί επάνω στην οριζόντια παλάμη μας, σε κάποιο ύψος επάνω από το έδαφος, έχει ενέργεια (αποθηκευμένη), όπως διαπιστώνουμε αν και όταν το αφήσουμε ελεύθερο. Η ύπαρξή της εκδηλώνεται όμως μόνο όταν οι συνθήκες το επιτρέψουν, όταν δηλαδή απομακρύνουμε ξαφνικά την παλάμη μας κάτω από το σώμα. Τότε, λόγω του φυσικού νόμου της βαρύτητας, το σώμα αρχίζει να κινείται (αλληλαγή) προς το έδαφος. Κατά την πτώση του εξακολουθεί να έχει την ενέργεια που είχε, ανεξάρτητα από την όποια «μορφή» της, ενέργεια που εκδηλώνεται τώρα από την παραμόρφωση (αλληλαγή) που προκαλεί το σώμα στην ελαστική επιφάνεια του εδάφους καθώς χτυπά επάνω της. Η ενέργεια εξακολουθεί να υπάρχει, τώρα όμως στο προσωρινά, ελαστικά παραμορφωμένο δάπεδο (μεταφορά ενέργειας), όπου και είναι έτοιμη (αποθηκευμένη) για νέα αλληλαγή, την εκτόξευση του σώματος δηλαδή και πάλι προς τα πάνω (μεταφορά και πάλι ενέργειας στο σώμα). Αλλά και ως θερμότητα που αύξησε τη θερμοκρασία του εδάφους.

Ένα θερμό τώρα, σε άλλο παράδειγμα, σώμα (αποθηκευμένη ενέργεια) είναι δυνατό να θερμάνει το περιβάλλον του (μεταφορά ενέργειας, αλληλαγή / άνοδος θερμοκρασίας), μόνο όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι χαμηλότερη αυτής του θερμού σώματος (συνθήκη), ώστε να εφαρμοσθεί ο αντίστοιχος φυσικός νόμος (μεταφορά ενέργειας / θερμότητας από σώματα υψηλότερης σε σώματα χαμηλότερης θερμοκρασίας)...

Αυτή η παρατήρηση αποτελεί ίσως και την ακριβέστερη προσέγγιση σε μια απόπειρα εννοιολογικού ορισμού της ενέργειας: η φυσική ποσότητα που καθορίζει (ή περιορίζει...) ποιες αλληλαγές, γεγονότα ή φυσικά φαινόμενα είναι δυνατό να συμβούν, αλλά δεν καθορίζει αν θα συμβούν, αφού αυτό εξαρτάται από τις εκάστοτε συνθήκες.

η φυσική προσέγγιση – κινητική και δυναμική ενέργεια: οι μορφές ενέργειας

Από φυσική άποψη, ενέργεια έχει ένα υλικό σώμα είτε όταν κινείται είτε όταν βρίσκεται σε κάποιο πεδίο δυνάμεων.

Περιοριζόμαστε στον καθημερινό μας κόσμο και αναφερόμαστε σε «υλικό» (=έχει μάζα, στην καθομιλούμενη) σώμα, δεδομένου ότι η φυσική ποσότητα μάζα είναι αυτή που δομεί τον κόσμο μας, καταλαμβάνοντας θέσεις του απέραντου χώρου σε συγκεκριμένες στιγμές του αέναου χρόνου. Κάθε άλλη φυσική ποσότητα, όπως το ηλεκτρικό φορτίο, προϋποθέτει την ύπαρξή της. Το ηλεκτρικό φορτίο δεν είναι αυθύπαρκτο, «φορτώνεται» στη μάζα, προσδίδοντας στα υλικά σώματα (υλικά σώματα ηλεκτρικά φορτισμένα) τις χαρακτηριστικές του ιδιότητες, που εμφανίζονται ως ηλεκτρικά ή και μαγνητικά φαινόμενα.

Την ενέργεια των σωμάτων που συνδέεται με την κίνησή τους ορίζουμε και ονομάζουμε κινητική ενέργεια. Αυτή η ενέργεια εξαρτάται τόσο από τη μάζα των σωμάτων όσο και από την ταχύτητά τους.

Η κίνηση των σωμάτων, για δεδομένο κάθε φορά παρατη-

ρητή, περιγράφεται από τη φυσική ποσότητα ταχύτητα. Αυτή, κάθε φορά, έχει συγκεκριμένη αριθμητική τιμή, διεύθυνση και φορά.

Αντίθετα, την ενέργεια των σωμάτων που συνδέεται με τις δυνάμεις που ασκούνται επάνω τους ορίζουμε και ονομάζουμε δυναμική ενέργεια. Η ενέργεια αυτή εξαρτάται από τις ασκούμενες δυνάμεις αλλά και τη θέση των σωμάτων στο πεδίο δυνάμεων.

Ως πεδίο δυνάμεων, γενικά, ορίσαμε τον χώρο μέσα στον οποίο όταν βρεθεί ένα σώμα ασκούνται επάνω του δυνάμεις. Ειδικότερα, υπάρχουν πεδία δυνάμεων (τα βαρυτικά) που ασκούν δυνάμεις στα υλικά σώματα (τα έχοντα δηλαδή μάζα, στην καθομιλούμενη), λόγω ακριβώς της μάζας τους (τέτοια είναι τα βαρυτικά πεδία της Γης, των άλλων πλανητών, του Ήλιου). Σε άλλα πεδία δυνάμεων (τα ηλεκτρικά) ασκούνται δυνάμεις στα υλικά (πάντα) σώματα που έχουν ηλεκτρικά φορτία λόγω ακριβώς των ηλεκτρικών τους φορτίων (αν και όταν έχουν...). Άλλα πεδία δυνάμεων (τα μαγνητικά) ασκούν δυνάμεις στα υλικά σώματα που έχουν μαγνητικές ιδιότητες (και μόνο)...Υπενθυμίζουμε ότι οι ηλεκτρικές και μαγνητικές ιδιότητες των υλικών σωμάτων οφείλονται στην ύπαρξη και την κίνηση, αντίστοιχα, ηλεκτρικών φορτίων σε αυτά.

ο μαθηματικός υπολογισμός

Μαθηματικά η κινητική ενέργεια ενός σώματος ορίζεται / υπολογίζεται ως το ήμισυ του γινομένου της μάζας του επί το τετράγωνο της ταχύτητάς του. Αντίστοιχα, η δυναμική ενέργεια ενός σώματος ως το γινόμενο της δύναμης που ασκείται επάνω του επί την απόστασή του από το σημείο του πεδίου στο οποίο (θεωρούμε) ότι η δυναμική του ενέργεια έχει μηδενική τιμή (σε όποια πεδία δυνάμεων υπάρχει τέτοιο σημείο ή σημεία).

στον μικρόκοσμο και στον μακρόκοσμο

Όσον αφορά στην κινητική ενέργεια, στον μακρόκοσμο της καθημερινής μας ζωής και, βέβαια, αυτόν του εξωγήινου διαστήματος, είναι συνήθης (αλλά όχι πάντα δεδομένη, ανάλογα με τον παρατηρητή ή το σύστημα αναφοράς) η κίνηση των σωμάτων που τον συνθέτουν. Παρατηρούμε, εδώ, σώματα που κινούνται ή σώματα ακίνητα (πάντα όμως ως προς κάποιον παρατηρητή ή σύστημα αναφοράς). Αυτά αντίστοιχα έχουν ή όχι κινητική ενέργεια. Στον μικρόκοσμο οι κινήσεις των σωμάτων που τον συνθέτουν είναι αέναες και, μάλιστα, γενικά ταχύτερες αυτών των σωμάτων του μακρόκοσμου. Εκεί, στον μικρόκοσμο, όλα τα σωματίδια έχουν κινητική ενέργεια.

Τα μόρια και τα άτομα είτε «ταλαντώνονται» (ακριβέστερα κινούνται γύρω από καθορισμένες θέσεις, όπως στην περίπτωση των στερεών σωμάτων) είτε μετακινούνται στον χώρο «αληθινοσυγκρουόμενα» (ακριβέστερα, αληθινοεπιδρώντα, αφού στον μικρόκοσμο επαφή σημαίνει γειτνίαση και όχι μηδενική απόσταση, όπως στην περίπτωση των ρευστών, υγρών και αερίων)... Τα ηλεκτρόνια κινούνται γύρω από τους πυρήνες... Τα πρωτόνια και νετρόνια, που συγκροτούν τους πυρήνες, στροβιλίζονται διαρκώς στο εσωτερικό των πυρήνων (ακριβέστερα στον χώρο που καλούμε πυρήνα)... Τα quarks, που συγκροτούν τα πρωτόνια και νετρόνια, στρο-

βιβλίζονται επίσης στο εσωτερικό των πρωτονίων και νετρονίων (ακριβέστερα στον χώρο που καλούμε πρωτόνια και νετρόνια, αφού τα πρωτόνια και νετρόνια –όπως εξάλλου και οι πυρήνες, τα άτομα, τα μόρια...– δεν οριοθετούνται από κανενός είδους «κέλυφος», όπως η σχηματική απεικόνισή τους ως σφαιριδίων μας έχει υποβάλει. Αναφερθήκαμε ήδη στον χορό του μικρόκοσμου)...

Όσον αφορά στη δυναμική ενέργεια, στον μακρόκοσμο της καθημερινής μας ζωής και στον διαστημικό χώρο, τα υλικά σώματα αλληλεπιδρούν με βαρυτικές δυνάμεις (οι οποίες και καθορίζουν, κατά κύριο λόγο, τις κινήσεις τους και βέβαια τη συγκρότηση των πλανητικών και αστρικών συστημάτων). Εκτός των βαρυτικών δυνάμεων, όλα τα σώματα που είναι ηλεκτρικά φορτισμένα αλληλεπιδρούν επίσης με ηλεκτρικές ή / και μαγνητικές δυνάμεις. Αντίθετα, στον μικρόκοσμο όλα τα σωματίδια αλληλεπιδρούν με ηλεκτρομαγνητικές και άλλες (ισχυρές και ασθενείς, όπως λέγονται) δυνάμεις, οι οποίες επικρατούν έναντι των βαρυτικών και, βέβαια, είναι υπεύθυνες για τη συγκρότηση του μικρόκοσμου. Έτσι, και στον μικρόκοσμο έχουμε δυναμική ενέργεια, αν και αυτή δεν οφείλεται σε βαρυτικές δυνάμεις ούτε πάντοτε σε δυνάμεις ομοειδών πεδίων.

Τα μόρια ταλαντώνονται ή μετακινούνται αλληλοσυγκρουόμενα και συνθέτουν τα στερεά και ρευστά σώματα, αντίστοιχα υπό την επίδραση ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων, οι οποίες είναι επίσης υπεύθυνες για τη συγκρότηση των ίδιων των μορίων, αλληλεπιδρώντας μεταξύ των ατόμων που τα συνθέτουν... Τα άτομα συγκροτούνται από πυρήνες και ηλεκτρόνια, που περιφέρονται γύρω από τους πυρήνες υπό την επίδραση ηλεκτρομαγνητικών επίσης δυνάμεων... Οι πυρήνες συγκροτούνται από πρωτόνια και νετρόνια υπό την επίδραση των ισχυρών και των ασθενών (όπως λέγονται) δυνάμεων... Τα πρωτόνια και τα νετρόνια συγκροτούνται από quarks υπό την επίδραση επίσης των ισχυρών και ασθενών δυνάμεων...

Στον μακρόκοσμο το άθροισμα της κινητικής και της δυναμικής ενέργειας των σωμάτων καλείται συνήθως μηχανική ενέργεια. Στον μικρόκοσμο ο όρος αυτός δεν έχει, βέβαια, έννοια.

Η γνωστή μας αρχή διατήρησης της μηχανικής ενέργειας (στις συνήθειες, στην καθημερινή μας ζωή, μετατροπές κινητικής ↔ δυναμικής ενέργειας) φυσικά ισχύει κατά προσέγγιση, αφού λόγω των τριβών υπάρχει μια διαρκής «υποβάθμιση» ενέργειας (σε θερμική, κινητική ενέργεια των σωματίων των σωμάτων) προς τον μικρόκοσμο. Έτσι δεν έχει έννοια και η αναζήτηση του «αικινήτου» στον πραγματικό μακρόκοσμό μας...

οι άλλες «μορφές» ενέργειας: πάντα με αναφορά στον μικρόκοσμο

Στον κόσμο μας, λοιπόν, εμφανίζεται η ενέργεια ως κινητική ή δυναμική, όταν συνδέεται με κίνηση ή δυνάμεις αντίστοιχα. Θεωρούμε αυτές τις «μορφές» της ενέργειας (διατηρώντας τις επιφυλάξεις μας όσον αφορά στον όρο μορφές) ως πρωταρχικές. Αντίθετα, θα θεωρήσουμε –όπως και είναι– κάθε άλλη «μορφή» ενέργειας (όπως εμφανίζονται, ίσως για ευκολία, στη

βιβλιογραφία με διάφορα ονόματα: θερμική, ηλεκτρική, χημική, πυρηνική,...) ως διαφορετικές ηλεκτικές εκφράσεις ειδικών περιπτώσεων ή συνδυασμών των πρωταρχικών μορφών ενέργειας, της κινητικής δηλαδή και δυναμικής ενέργειας.

Με τον όρο θερμική ενέργεια εννοούμε το σύνολο της κινητικής ενέργειας (...) των σωματίων (κυρίως των μορίων) που συγκροτούν τα υλικά σώματα, καθώς αυτά κινούνται στο εσωτερικό τους... Επισημαίνουμε, προς αποφυγή σύγχυσης, ότι με τον όρο θερμότητα εννοούμε ειδικά την ενέργεια που μεταφέρεται από ένα σώμα υψηλής θερμοκρασίας σε άλλο με χαμηλότερη θερμοκρασία.

Με τον όρο ηλεκτρική ενέργεια αναφερόμαστε στην κινητική (...) ενέργεια των κινούμενων ηλεκτρονίων (ηλεκτρικού ρεύματος) που παρατηρείται, λόγω της εφαρμογής ηλεκτρικής διαφοράς δυναμικού (ηλεκτρικής τάσης) στα άκρα αγωγού... Για την αποφυγή σύγχυσης αναφέρουμε ότι ως ηλεκτρομαγνητική και φωτεινή ενέργεια (φωτεινή στην περίπτωση του ορατού ηλεκτρομαγνητικού κύματος, δηλαδή του φωτός) χαρακτηρίζουμε ειδικά την ενέργεια που μεταφέρεται ως ηλεκτρομαγνητικό κύμα και προέρχεται από την κινητική ενέργεια ταλαντούμενων σωματίων με ηλεκτρικό φορτίο...

Με τον όρο χημική ενέργεια αποδίδουμε συχνά το σύνολο της δυναμικής (...) ενέργειας που απαιτήθηκε για τη συγκρότηση, υπό την αλληλεπίδραση ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων, μορίων χημικών ενώσεων από διάφορα άτομα. Αυτή η ενέργεια αποδίδεται (συνήθως ως θερμική ή ηλεκτρική) όταν τα μόρια αποσυνκροτούνται και πάλι σε άτομα. Φυσικά αυτή η ενέργεια δεν είναι τίποτα διαφορετικό από τη γνωστή μας δυναμική ενέργεια, αφού πρόκειται για ενέργεια λόγω δυνάμεων (εδώ ηλεκτρομαγνητικών)... Όταν η χημική ενέργεια μετασχηματίζεται σε θερμική και κινητική ενέργεια με βιοηολογικούς μηχανισμούς στους ζωντανούς οργανισμούς, ονομάζεται ειδικά ζωική ή βιολογική ενέργεια...

Τέλος, με τον όρο πυρηνική ενέργεια αναφερόμαστε στη δυναμική (...) ενέργεια που εγκλείεται στους πυρήνες των ατόμων λόγω της αλληλεπίδρασης των σωματίων που τους συνιστούν με δυνάμεις. Αυτή η ενέργεια εκλύεται ως κινητική (θερμική) ενέργεια όταν ανασυνκροτούμε (με διαίρεση ή σχάση είτε, αλλιώς, με συγκόλληση ή σύντηξη) πυρήνες...

Ειδικότερα, ως ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζουμε την πυρηνική ενέργεια που προέρχεται από τη σύντηξη πυρήνων υδρογόνου στον Ήλιο...

οι «μορφές» της ενέργειας και ο ρόλος τους στη ζωή μας

Αυτές οι ειδικές περιπτώσεις (ή, ακριβέστερα, ο συνδυασμός) των πρωταρχικών «μορφών» ενέργειας, της κινητικής και δυναμικής, στον μικρόκοσμο έχουν καθοριστική σημασία όσον αφορά στη μετατροπή, αποθήκευση, μεταφορά και, βέβαια, χρήση της ενέργειας από τον σημερινό άνθρωπο στον καθημερινό του μακρόκοσμο, στη ζωή του.

(θα χρησιμοποιούμε κατ' οικονομία τους όρους που αναφέραμε πιο πάνω, για να αναφερόμαστε μακροσκοπικά στις ειδικές αυτές περιπτώσεις της κινητικής και δυναμικής ενέργειας των σωματίων του μικρόκοσμου, αν και συνιστούμε τη μη κατάχρησή τους, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της εκπαιδευτικής διαδικασίας).

Ο άνθρωπος κατ' αρχήν χρησιμοποιεί την ενέργεια για την ανάπτυξη και τη διατήρησή του στη ζωή. Με βιολογικούς μηχανισμούς μετατρέπει τη (χημική) ενέργεια των ζωικών και φυτικών τροφών του, την αποθηκεύει (χημικά) ή τη χρησιμοποιεί αμέσως για την ανάπτυξή του (πάλι ως χημική), τη θέρμανσή του (θερμική ενέργεια), την κίνησή του αλλιά και τη μετακίνηση αντικειμένων (κινητική ενέργεια) ή / και την ανάπτυξη των φυτών και των ζώων (χημική ενέργεια / λιπίδια, ζωοτροφές,...)

Παράλληλα χρησιμοποιεί τη (θερμική) ενέργεια που προέρχεται –αμέσως ή εμμέσως– από τον Ήλιο (ηλιακή / πυρηνική ενέργεια από τη σύντηξη πυρήνων) ή άλλες ενδιάμεσες αποθήκες της ηλιακής ενέργειας (έδαφος, νερό, ατμόσφαιρα,...) ή ακόμη από άλλες διαδικασίες (καύση υλικών, σχάση πυρήνων,...) για τη θέρμανση χώρων (θερμική ενέργεια) και την κίνηση μηχανών (κινητική ενέργεια). Φυσικά η (θερμική) ενέργεια από τον Ήλιο είναι δυνατό να αποθηκευτεί ως θερμική, επίσης, ενέργεια στη Γη (άμεση θέρμανσή της ή θέρμανση στο παρελθόν / γεωθερμία...), ως θερμική ενέργεια στο νερό (άμεση θέρμανσή του), ως δυναμική ενέργεια νερού (θέρμανση ατμόσφαιρας / θαλάσσιων → εξάτμιση νερού → βροχοπτώσεις → συγκέντρωση νερού σε υδατοταμιευτήρες σε μεγάλο υψόμετρο), ως κινητική ενέργεια ανέμου (θέρμανση τμημάτων ατμόσφαιρας → μετακίνηση αέριων μαζών / άνεμοι) κ.ά.

Όσον αφορά στις άλλες διαδικασίες που αναφέραμε και που παρέχουν θερμική ενέργεια (καύση υλικών ή σχάση πυρήνων), η (θερμική) ενέργεια από την καύση προέρχεται, βέβαια, από τη μετατροπή της (χημικής / δυναμικής) ενέργειας των υλικών που καίγονται, ενώ αυτή από τη σχάση ή σύντηξη πυρήνων προέρχεται από τη (δυναμική) ενέργεια των πυρήνων, χρησιμοποιείται δε αμέσως για θέρμανση ή μετατρέπεται σε άλλες μορφές.

Συνήθως η (θερμική) ενέργεια, όταν διατίθεται σε μεγάλες ποσότητες, από όπου και αν προέρχεται, μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια (με τη χρήση ατμοστροβίλων ή θερμικών κινητήρων) ή σε ηλεκτρική (κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων = ηλεκτρικό ρεύμα) ενέργεια (με τη χρήση ηλεκτρογεννητριών) ή αποθηκεύεται ως χημική ενέργεια (ηλεκτρικοί συσσωρευτές). Στη συνέχεια η ηλεκτρική ενέργεια (ως ηλεκτρικό ρεύμα από τις ηλεκτρογεννήτριες ή τους ηλεκτρικούς συσσωρευτές), μεταφερόμενη στους τόπους χρησιμοποίησής της, είτε μετατρέπεται και πάλι σε θερμική ενέργεια (με τη χρήση ηλεκτρικών αντιστάσεων / θερμαντήρων) είτε σε κινητική ενέργεια (με τη χρήση ηλεκτροκινητήρων).

Παρατηρούμε ότι η ενέργεια, είτε αποθηκεύεται είτε χρησιμοποιείται αμέσως, υφίσταται μια –συνή– διαρκή μετατροπή, με τη χρήση βέβαια μηχανισμών μετατροπής (της τεχνολογίας), για την εκμετάλλευσή της στον χρόνο και στη «μορφή» που χρειαζόμαστε...

Η αναφορά μας στην αρχική ενέργεια και σε διαρκείς μετατροπές και τη μεταφορά της, χωρίς οποιαδήποτε παρατήρηση για ποσοτική αλλαγή της ενέργειας του κόσμου μας (εκτός βέβαια των όποιων μετασχηματισμών της σε μάζα, και αντίστροφα, που δεν αφορούν στον καθημερινό, από μας κόσμο, αλλά στον μικρόκοσμο), υπονοεί ότι η ενέργεια στον κόσμο μας διατηρείται ποσοτικά αμετάβλητη.

η αρχή διατήρησης

Όπως αναφέραμε και παραπάνω η ενέργεια διατηρείται. Επομένως ο όρος «πηγές ενέργειας» δεν πρέπει να δημιουργεί την παρανόηση ότι από αυτές πηγάζει νέα ποσότητα ενέργειας. Για τον λόγο αυτό προτείνεται ο όρος «αποθήκες» ενέργειας αντί του καθιερωμένου «πηγές». Στις αποθήκες ενέργειας (π.χ. Ήλιος, άνεμος, πετρέλαιο,...) έχει αποθηκευθεί ενέργεια με κάποια μορφή και μετατρέπεται σε άλλη όταν οι συνθήκες το επιτρέψουν.

Τις αποθήκες ενέργειας διακρίνουμε σε ανανεώσιμες και μη ανανεώσιμες. Η διάκριση αυτή γίνεται με κριτήριο τον χρόνο που απαιτείται για μία αποθήκη να ανανεωθεί. Το πετρέλαιο, για παράδειγμα, ανανεώνεται με πολύ αργούς ρυθμούς (εκατομμύρια χρόνια απαιτούνται για να δημιουργηθεί στο υπέδαφος) σε σχέση με τους ρυθμούς εκμετάλλευσης και εξάντησής του. Πρόκειται πρακτικά για μη ανανεώσιμη αποθήκη ενέργειας. Αντίθετα, ο Ήλιος υπολογίζεται ότι θα συνεχίσει να μας προσφέρει την ενέργειά του για μερικά δισεκατομμύρια χρόνια ακόμα. Πρόκειται πρακτικά για ανανεώσιμη αποθήκη ενέργειας.

Ας παρακολουθήσουμε μία χαρακτηριστική περίπτωση μετατροπής ενέργειας από μία μορφή σε άλλη. Στην περίπτωση του φωτοβολταϊκού μετατροπέα, η ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Δηλαδή η πυρηνική (ή –μικροσκοπικά– η δυναμική ενέργεια των πυρήνων υδρογόνου) μετατρέπεται σε ηλεκτρική (ή –μικροσκοπικά– σε κινητική ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων). Πρόκειται για την εκμετάλλευση ενός φυσικού φαινομένου που έχει παρατηρηθεί σε μερικά μόνο μέταλλα στη φύση (π.χ. γερμάνιο), κατά το οποίο μια επιφάνεια τέτοιου σώματος, όταν φωτισθεί, εκπέμπει ηλεκτρόνια.

Εδώ ίσως κάποιος αναρωτηθεί πώς είναι δυνατό να αντιμετωπίσουμε στη γη ενεργειακό πρόβλημα αφού η ενέργεια διατηρείται. Το πρόβλημα όμως δεν είναι η ποσότητα της ενέργειας αλλά οι μορφές της και ποιες από αυτές είναι διαθέσιμες και εκμεταλλεύσιμες. Το πρόβλημα ανάγεται στην εφικτή και αποδοτική, κυρίως, μετατροπή της ενέργειας σε εκμεταλλεύσιμες μορφές από άλλες διαθέσιμες, μέσω συστημάτων και διαδικασιών μετατροπής ή / και αποθήκευσης, χωρίς μεγάλο οικονομικό κόστος και χωρίς επιβάρυνση του περιβάλλοντος.

Φυσικά, υπό το πρίσμα της διατήρησης της ενέργειας, διαφοροποιείται και η έννοια της απώλειας ενέργειας ή των ενεργειακών απωλειών. Ως απώλεια ενέργειας θεωρείται η υποβάθμιση ενέργειας, δηλαδή η μετατροπή (μέρους) της σε μορφή που δεν είναι πρακτικά εκμεταλλεύσιμη. Η μετατροπή ενέργειας σε θερμική ενέργεια χαμηλής θερμοκρασίας (≡ ροή θερμότητας σε σώματα χαμηλής θερμοκρασίας όταν δεν το επιθυμούμε) είναι η διαδικασία που συνήθως μας απασχολεί και κατά κύριο λόγο χαρακτηρίζουμε ως ενεργειακή υποβάθμιση.

Η ενέργεια, λοιπόν, η ίδια ενέργεια της μεγάλης έκρηξης, εμφανίζεται στον καθημερινό μας κόσμο με διάφορες «μορφές» και σε διαρκή μεταφορά, αλληλίζοντας διαρκώς τον κόσμο μας, αφού προκαλεί τις όποιες μεταβολές / αλλαγές του παρατηρούμε.

Η μεταφορά της βέβαια δεν είναι διαρκής επειδή «πρέπει» διαρκώς να μεταφέρεται, αλλά γιατί νομοτελειακά θα μεταφέρεται έως ότου επιτευχθεί ισοκατανομή της παντού στο σύμπαν, αν ποτέ επιτευχθεί... Το τελευταίο συνδέεται με τη φυσική ποσότητα εντροπία (μέτρο της «αταξίας» των σωματιύων του μικρόκοσμού μας) και την τάση της για διαρκή αύξησή της...

Η διατήρηση της ενέργειας αποτελεί πρωταρχική και θεμελιώδη αρχή της Φυσικής. Η αρχή ή ο νόμος (της Διατήρησης της Ενέργειας) μαζί με μερικά αξιώματα (τα λεγόμενα θερ-

μοδυναμικά αξιώματα) διέπουν τις μετατροπές και τη μεταφορά της ενέργειας, αλλήλα βέβαια και την εκμετάλλευσή της.

...για τον μικρόκοσμο



Παρατηρώντας γύρω μας και εξετάζοντας τα διάφορα σώματα του φυσικού μας κόσμου, εύκολα διακρίνουμε ότι διαφέρουν μεταξύ τους.

Διαφέρουν, για παράδειγμα, στο μέγεθος, στο βάρος, στο σχήμα, στη σκληρότητα και στην ελαστικότητα, ...



Διαφέρουν στη γεύση, στο χρώμα, στην οσμή, ...



Διαφέρουν, ακόμη, στο ότι αήληα σώματα είναι στερεά (με σταθερό σχήμα) αήληα είναι υγρά (παίρνουν το σχήμα του δοχείου στο οποίο βρίσκονται) και αήληα είναι αέρια (αν τα αφήσουμε ελεύθερα, διασκορπίζονται).



Διαφέρουν δηλαδή τα σώματα στις ιδιότητες που έχουν αήληα και στη φυσική κατάσταση (στερεή, υγρή, αέρια) που βρίσκονται.

Γιατί; Εκτός από διαφορές έχουν και ομοιότητες;

Οι διαφορές ή οι ομοιότητες που παρουσιάζουν τα σώματα είναι δυνατό να μας αποκαλύψουν κάποια κρυμμένα μυστικά τους;

Να ένα ενδιαφέρον πρόβλημα !

ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΜΙΚΡΟ-ΑΝΑΓΝΩΣΜΑ

(συνέχεια) ...για τον μικρόκοσμο



Αναρωτιόμαστε:

Αν τα διάφορα σώματα εκτός από διαφορές παρουσιάζουν και ομοιότητες, τότε δεν πρέπει να έχουν κάτι κοινό;

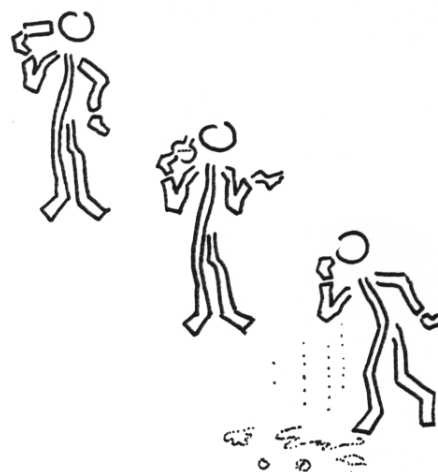
Αν όμως έχουν κάτι κοινό, τότε μήπως αυτό είναι τόσο μικρό, ώστε είναι αόρατο;

Να δύο υποθέσεις που αξίζει να τις ελέγξουμε !

Ας εξετάσουμε προσεκτικότερα σε διάφορα σώματα το φαινόμενο της οσμής:

Οσμή έχουν
και σώματα στερεά
(όπως το ξύλο,
ακόμη και τα μέταλλα)
και σώματα υγρά
(όπως οι κολλήνες και η βενζίνη)
και σώματα αέρια
(όπως το μεθάνιο και το υδρογόνο).

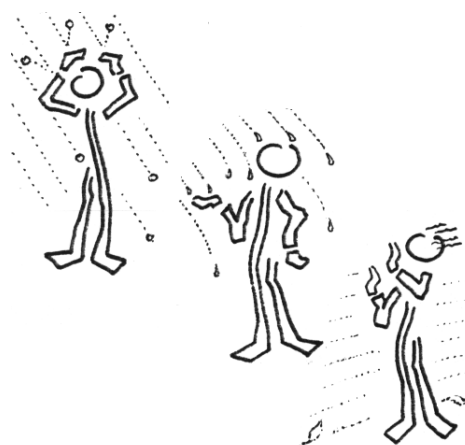
Αυτό ίσως σημαίνει ότι κάτι
πολύ μικρό και αόρατο,
που είναι κοινό σε όλα τα σώματα (στερεά, υγρά ή
αέρια),
μετακινείται από αυτά
στη μύτη μας.



Ας αισθανθούμε επίσης διάφορα σώματα με την α-
φή μας:

Την ίδια αίσθηση μάς προκαλεί
και η επαφή μας με τα στερεά
και το κτύπημα των σταγόνων ενός υγρού στο σώ-
μα μας
και η κίνηση του αέρα, ο άνεμος, γύρω από το σώ-
μα μας.

Αυτό ίσως σημαίνει ότι όλα τα σώματα (και τα αόρα-
τα αέρια) αποτελούνται από μικρότερα σώματα, τό-
σο μικρά ώστε είναι αόρατα.



Ίσως, λοιπόν, το κοινό που αναζητούμε στα διάφορα σώματα να υπάρχει και να είναι κάποια μικρότερα (αόρατα σε εμάς) σώματα που τα αποτελούν.

Να μια πιο συγκεκριμένη υπόθεση που αξίζει να ερευνήσουμε !

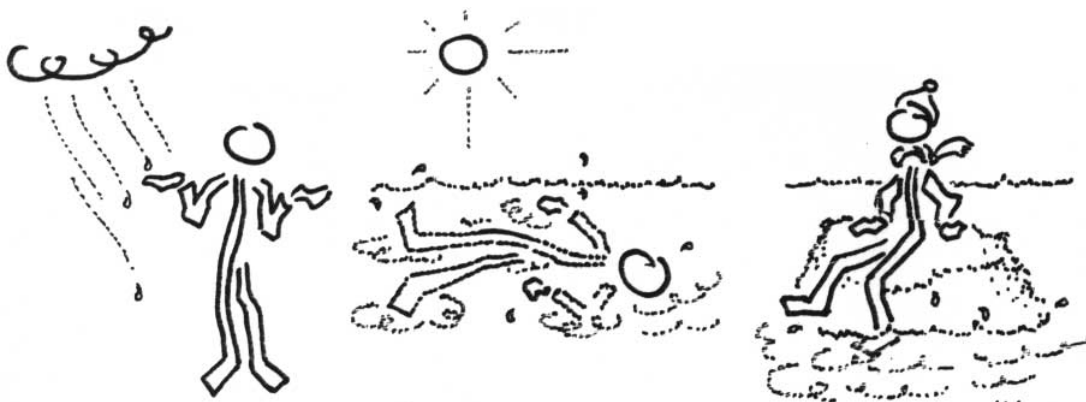
(συνέχεια) ...για τον μικρόκοσμο



Για την επιβεβαίωση ή όχι της υπόθεσής μας, πρέπει να επεκτείνουμε τις παρατηρήσεις μας και να πειραματισθούμε.

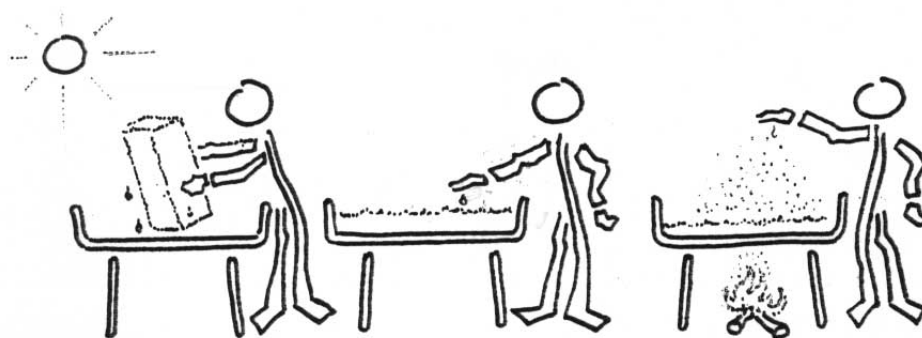
Ας παρατηρήσουμε στη φύση τις αλλαγές των φυσικών καταστάσεων μερικών σωμάτων (στερεά $\Leftrightarrow$ υγρά $\Leftrightarrow$ αέρια).

Τις αλλαγές, για παράδειγμα: πάγος $\Rightarrow$ νερό $\Rightarrow$ υδρατμοί
(ή, αντίστροφα, τις αλλαγές: υδρατμοί $\Rightarrow$ νερό $\Rightarrow$ πάγος)...



Ας επαναλάβουμε με πείραμα τις αλλαγές: πάγος $\Rightarrow$ νερό $\Rightarrow$ υδρατμοί και ας καταγράψουμε τι παρατηρούμε.

Ο στερεός πάγος μετατρέπεται σε υγρό νερό και αυτό σε υδρατμούς.



Δοκιμάζουμε και αυτό:

Ακουμπάμε στην αρχή το χέρι μας στον πάγο, μετά το βυθίζουμε στο νερό, τέλος το απλώνουμε επάνω από το νερό, καθώς οι υδρατμοί ανεβαίνουν.

Και στις τρεις περιπτώσεις το χέρι μας υγραίνεται.

Φαίνεται ότι και ο πάγος και το νερό και οι υδρατμοί αποτελούνται από τα ίδια μικρά (και αόρατα σε εμάς) σώματα.

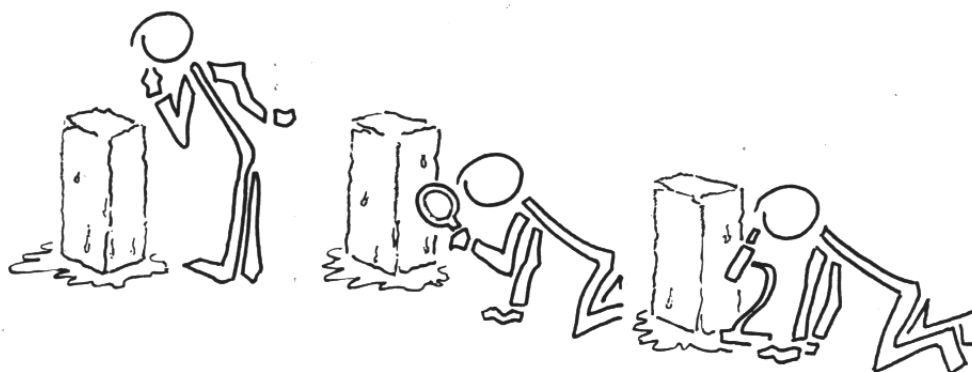
ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΜΙΚΡΟ-ΑΝΑΓΝΩΣΜΑ

(συνέχεια) ...για τον μικρόκοσμο

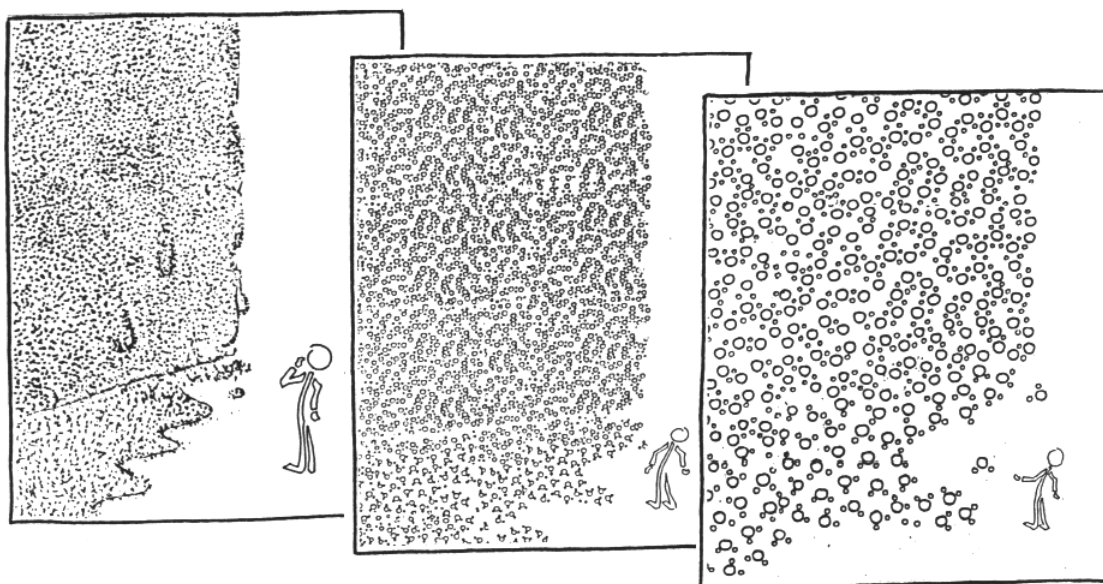


Συμπεραίνουμε, λοιπόν, ότι και ο πάγος και το νερό και οι υδρατμοί αποτελούνται από τα ίδια μικρά (και αόρατα σε εμάς) σώματα.

Ακόμη και με τη χρήση μεγεθυντικού φακού ή και μικροσκοπίου αυτά τα μικρά σώματα δε φαίνονται...



... αν όμως μπορούσαμε να μικρύνουμε και εμείς οι ίδιοι ένα δισεκατομμύριο φορές, περίπου, ίσως να τα βλέπαμε...



Από πειράματα που έχουν γίνει από τους επιστήμονες, βεβαιωνόμαστε ότι υπάρχουν τέτοια μικρά σώματα που αποτελούν (ή συγκροτούν, όπως λέμε) τα μεγαλύτερα σώματα. Και τα στερεά και τα υγρά και τα αέρια. Τα ονομάζουμε, μάλιστα, σωματίδια.

Τα μεγαλύτερα από αυτά τα σωματίδια τα ονομάζουμε μόρια.

(Και) τα μόρια συγκροτούνται από μικρότερα σωματίδια, που ονομάζουμε άτομα.

(Και) τα άτομα συγκροτούνται από μικρότερα σωματίδια, τους πυρήνες και τα ηλεκτρόνια.

(Και) οι πυρήνες συγκροτούνται από μικρότερα σωματίδια, τα πρωτόνια και τα νετρόνια...

Αυτός είναι ο μικρόκοσμος.

(συνέχεια) ...για τον μικρόκοσμο



Γνωρίζοντας τον μικρόκοσμο, μπορούμε να γενικεύσουμε το συμπέρασμά μας και να εξηγήσουμε και άλλα φαινόμενα.

Όπως το φαινόμενο της διάλυσης μερικών στερεών σωμάτων σε υγρά.

Ένα κομμάτι ζάχαρης σε στερεή κατάσταση, για παράδειγμα, έχει συγκεκριμένο σχήμα και τη χαρακτηριστική ιδιότητα της ζάχαρης: τη γλυκιά γεύση. Το διαπιστώνουμε αν το φέρουμε σε επαφή με τη γλώσσα μας.

Αυτό συμβαίνει γιατί (και) η ζάχαρη συγκροτείται από μικροσκοπικά σωματίδια, τα μόρια. Στη στερεή κατάσταση τα μόρια παραμένουν το ένα κοντά στο άλλο. Όταν φέρνουμε τη ζάχαρη στο στόμα μας, μερικά από αυτά προσκολληώνται στη γλώσσα μας. Τα γευόμαστε, αλλά είναι αόρατα, γιατί είναι πολύ μικρά.



Το κομμάτι της ζάχαρης διαλύεται εύκολα στο νερό. Χάνεται τότε το σχήμα του, αλλά όχι και η γεύση του. Το διάλυμα της ζάχαρης στο νερό εξακολουθεί να είναι γλυκό.

Το διαπιστώνουμε και πάλι με τη γλώσσα μας.

Αυτό συμβαίνει γιατί τα μόρια της ζάχαρης εξακολουθούν να είναι εκεί. Τώρα βρίσκονται διασκορπισμένα ανάμεσα στα μόρια του νερού. Τα γευόμαστε, αλλά είναι και πάλι αόρατα.



Εύκολα όμως έχουμε και πάλι τη ζάχαρη σε στερεή κατάσταση, αν αφήσουμε το νερό στον ήλιο, ώστε να εξατμισθεί. Τα μόρια του νερού θα διασκορπισθούν στην ατμόσφαιρα. Τα μόρια της ζάχαρης όχι, γιατί είναι βαρύτερα.

Η ζάχαρη θα παραμείνει ως στερεό.

Τα μόρια της ζάχαρης συγκροτούν και πάλι μεγαλύτερα σωματίδια, τους κόκκους της ζάχαρης. Πολλοί κόκκοι είναι δυνατό να συγκροτήσουν και μεγαλύτερα κομμάτια ζάχαρης.



Με τον ίδιο τρόπο εξηγούμε τη διάλυση και άλλων στερεών σε υγρά, ή υγρών σε άλλα υγρά ή και τη διάχυση (όπως την ονομάζουμε) στερεών, υγρών και αερίων σε άλλα αέρια.

ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΜΙΚΡΟ-ΑΝΑΓΝΩΣΜΑ

(συνέχεια) ...για τον μικρόκοσμο



Γνωρίσαμε τα σωματίδια του μικρόκοσμου και εξηγήσαμε διάφορα φαινόμενα που οφείλονται στα μόρια που συγκροτούν τα σώματα.

Παρατηρούμε όμως και άλλες ιδιότητες και φαινόμενα:

Το σταθερό (όπως των στερεών) ή όχι (όπως των υγρών και αερίων) σχήμα των σωμάτων.

Τη μεγαλύτερη ή μικρότερη σκληρότητα και ελαστικότητα (μερικών στερεών) σωμάτων.

Τη δυσκολότερη ή ευκολότερη ροή και συμπίεση των (υγρών και αερίων) σωμάτων.

Τις δυνάμεις που ασκούν τα (στερεά) σώματα επάνω μας όταν προσπαθούμε να τα κινήσουμε ή να τα παραμορφώσουμε.

Τις δυνάμεις που ασκούν τα (υγρά και αέρια) σώματα όταν εμποδίζουμε τη ροή τους (ακόμη και όταν αυτά τα υγρά και αέρια σώματα είναι ακίνητα).



Αυτές οι παρατηρήσεις μάς φανερώνουν ότι:

- Μεταξύ των μορίων των σωμάτων (πρέπει να) ασκούνται δυνάμεις (ελκτικές και απωστικές).
- Τα μόρια των σωμάτων (πρέπει να) κινούνται.



Από πειράματα που έχουν γίνει από τους επιστήμονες βεβαιωνόμαστε:

- Μεταξύ των μορίων των σωμάτων ασκούνται δυνάμεις από απόσταση. Ελκτικές και Απωστικές.
Οι ελκτικές δυνάμεις αναγκάζουν τα μόρια των στερεών σωμάτων να παραμένουν το ένα κοντά στο άλλο. Αυτές οι δυνάμεις μάς εμποδίζουν να παραμορφώσουμε αυτά τα σώματα. Σε αυτές τις δυνάμεις οφείλεται το σταθερό σχήμα και η σκληρότητα αυτών των σωμάτων. Οι απωστικές δυνάμεις δεν επιτρέπουν στα μόρια των σωμάτων (στερεών, υγρών και αερίων) να πλησιάσουν τόσο ώστε να ακουμπήσουν το ένα το άλλο. Αυτές οι δυνάμεις μάς εμποδίζουν να συμπίεσουμε πέρα από ένα όριο όλα τα σώματα.
- Τα μόρια όλων των σωμάτων κινούνται. Συνεχώς και άτακτα (δηλαδή σε τυχαίες κατευθύνσεις). Στις συνεχείς κινήσεις των μορίων οφείλονται οι δυνάμεις που αισθανόμαστε όταν εμποδίζουμε τη ροή (ακόμη και των ακίνητων) υγρών και αερίων. Καθώς κινούνται, πλησιάζουν τα μόρια του σώματός μας. Αλληλεπιδρούν από απόσταση και αλληλάζουν κατεύθυνση. Μας ασκούν έτσι δύναμη. Όπως και εμείς σε αυτά. Το ότι οι συνεχείς αυτές κινήσεις είναι και άτακτες (προς όλες δηλαδή τις κατευθύνσεις) αποδεικνύεται από το ότι αισθανόμαστε δυνάμεις, όταν εμποδίζουμε τη ροή των υγρών και αερίων από κάθε κατεύθυνση.

...για τα στερεά, υγρά, αέρια



Γνωρίσαμε ότι τα διάφορα σώματα του κόσμου μας συγκροτούνται από σωματίδια, τα μόρια, και αυτά από άτομα...

Γνωρίσαμε ότι μεταξύ των μορίων των σωμάτων ασκούνται ελκτικές και απωστικές δυνάμεις από απόσταση.

Γνωρίσαμε ακόμη ότι τα μόρια των σωμάτων κινούνται συνεχώς και άτακτα.

Γνωρίσαμε τον μικρόκοσμο.

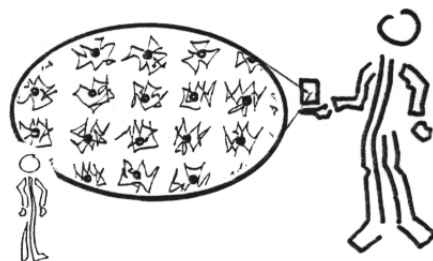
Σε τι διαφέρει όμως ο μικρόκοσμος στα στερεά, στα υγρά και στα αέρια;

Τα μόρια όλων των σωμάτων (στερεών, υγρών, αερίων) κινούνται συνεχώς και άτακτα.

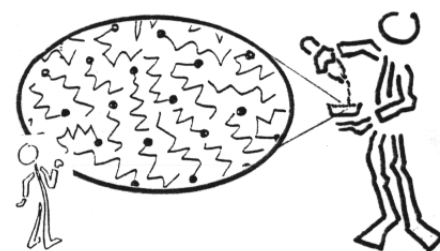
Με διαφορετικό όμως τρόπο.

Υπεύθυνες για τον διαφορετικό τρόπο κίνησης των μορίων στα στερεά, υγρά και αέρια είναι οι δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ τους. Να πώς και γιατί:

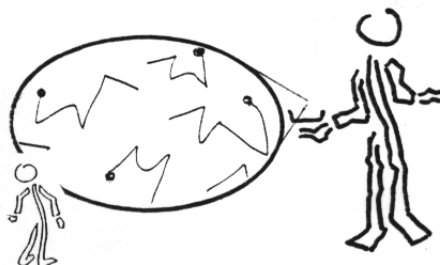
Τα μόρια των σωμάτων που ονομάζουμε στερεά κινούνται το ένα κοντά στο άλλο, σε καθορισμένες περιοχές, γύρω από μόνιμες θέσεις. Σε αυτές τις θέσεις παγιδεύονται, γιατί εκεί οι μεταξύ τους ελκτικές και απωστικές δυνάμεις είναι ίσες. Από αυτές τις θέσεις δύσκολα ξεφεύγουν (και μόνο αν ασκήσουμε μεγαλύτερες δυνάμεις ή θερμάνουμε τα σώματα).



Τα μόρια των σωμάτων που ονομάζουμε υγρά κινούνται το ένα κοντά στο άλλο, αλλά όχι σε καθορισμένες περιοχές. Δεν παγιδεύονται σε θέσεις όπου οι μεταξύ τους ελκτικές και απωστικές δυνάμεις είναι ίσες. Μετακινούνται το ένα ως προς το άλλο. Δεν απομακρύνονται όμως, αν δεν αναγκασθούν (με μικρές δυνάμεις που θα ασκήσουμε ή με θέρμανση). Παραμένουν συγκεντρωμένα σε κοιλότητες ή δοχεία (λόγω του βάρους τους). Ή ρέουν (αν δεν εμποδισθούν) σε χαμηλότερες κοιλότητες ή δοχεία.



Τα μόρια των σωμάτων που ονομάζουμε αέρια κινούνται ελεύθερα, χωρίς και αυτά να παγιδεύονται σε θέσεις όπου οι μεταξύ τους ελκτικές και απωστικές δυνάμεις είναι ίσες ούτε συγκεντρώνονται σε κοιλότητες ή δοχεία. Μετακινούνται το ένα ως προς το άλλο και διασκορπίζονται (αν δεν τα εμποδίσουμε, βάζοντάς τα σε κάποιο δοχείο) προς όλες τις κατευθύνσεις, χωρίς τη δική μας παρέμβαση.



Πρέπει να θυμόμαστε πάντως ότι ακόμη και οι πιο μικρές αποστάσεις στις οποίες είναι δυνατό να πλησιάσουν τα μόρια (είτε των στερεών, είτε των υγρών, είτε των αερίων) είναι πολύ μεγαλύτερες από τις διαστάσεις τους! Ο χώρος μεταξύ τους είναι κενός!

ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΜΙΚΡΟ-ΑΝΑΓΝΩΣΜΑ

...για τη **θερμοκρασία** και τη **θερμότητα**



Γνωρίζουμε ότι τα μόρια που συγκροτούν τα σώματα (στερεά, υγρά και αέρια) κινούνται συνεχώς και άτακτα.

Γνωρίζουμε επίσης ότι τα μόρια αλληλεπιδρούν με δυνάμεις που ασκούν μεταξύ τους από απόσταση.

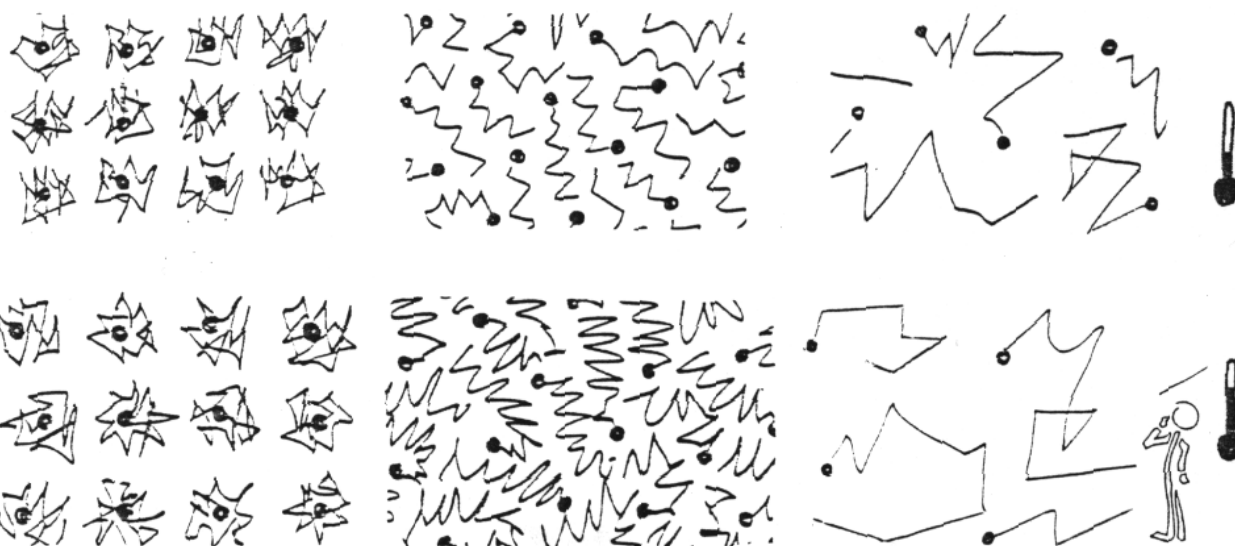
Πώς αντιλαμβανόμαστε όμως αυτές τις κινήσεις, αφού τα μόρια είναι αόρατα σε εμάς; Πώς μας επηρεάζουν; Τα μόρια κινούνται, άρα έχουν ενέργεια, όπως όλα τα σώματα ή τα σωματίδια που κινούνται. Αυτήν την ενέργεια την ονομάζουμε κινητική ενέργεια.

Όσο πιο γρήγορα κινούνται τα μόρια ενός σώματος, τόσο μεγαλύτερη κινητική ενέργεια έχουν και τόσο θερμότερο αισθανόμαστε το σώμα.

Ή, όπως ήέμε, έχει υψηλότερη «θερμοκρασία».

Η θερμοκρασία των σωμάτων μάς φανερώνει, λοιπόν, ότι τα μόρια κινούνται.

Μας φανερώνει ακόμη και το πόσο γρήγορα κινούνται.



Πώς εξηγούμε, όμως, με τον μικρόκοσμο τις αλληλαγές της θερμοκρασίας των σωμάτων;

Λόγω των αλληλεπιδράσεων των μορίων, αν κάποια μόρια κινούνται ταχύτερα από τα άλλα, θα προκαλέσουν την αύξηση της ταχύτητας και των άλλων. Δηλαδή θα τους δώσουν ενέργεια.

Στα στερεά η ενέργεια μεταδίδεται από μόριο σε μόριο.

Στα υγρά και στα αέρια μεταφέρεται από τα ίδια τα μόρια, που μετακινούνται και δημιουργούν ρεύματα.

Στο κενό διαδίδεται με ακτινοβολία (ακόμα και από σώματα σε σώματα που βρίσκονται μακριά το ένα από το άλλο).

Όπου όμως τα μόρια κινούνται με μεγαλύτερες ταχύτητες, η θερμοκρασία είναι υψηλότερη.

Άρα η ενέργεια ρέει από εκεί όπου η θερμοκρασία είναι υψηλότερη προς τα εκεί όπου η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη, ώστε και αυτή να αυξηθεί.

Δηλαδή από εκεί όπου τα μόρια κινούνται γρηγορότερα προς τα εκεί όπου τα μόρια κινούνται πιο αργά, ώστε και αυτά να κινηθούν γρηγορότερα.

Αυτήν την ενέργεια, για όσο χρόνο ρέει, την ονομάζουμε θερμότητα.

Συμπεραίνουμε ότι η ροή της θερμότητας αλληλάζει τη θερμοκρασία.

Συμπεραίνουμε ακόμη ότι οι διαφορές της θερμοκρασίας προκαλούν ροή θερμότητας.

(συνέχεια) ...για τη θερμοκρασία και τη θερμότητα



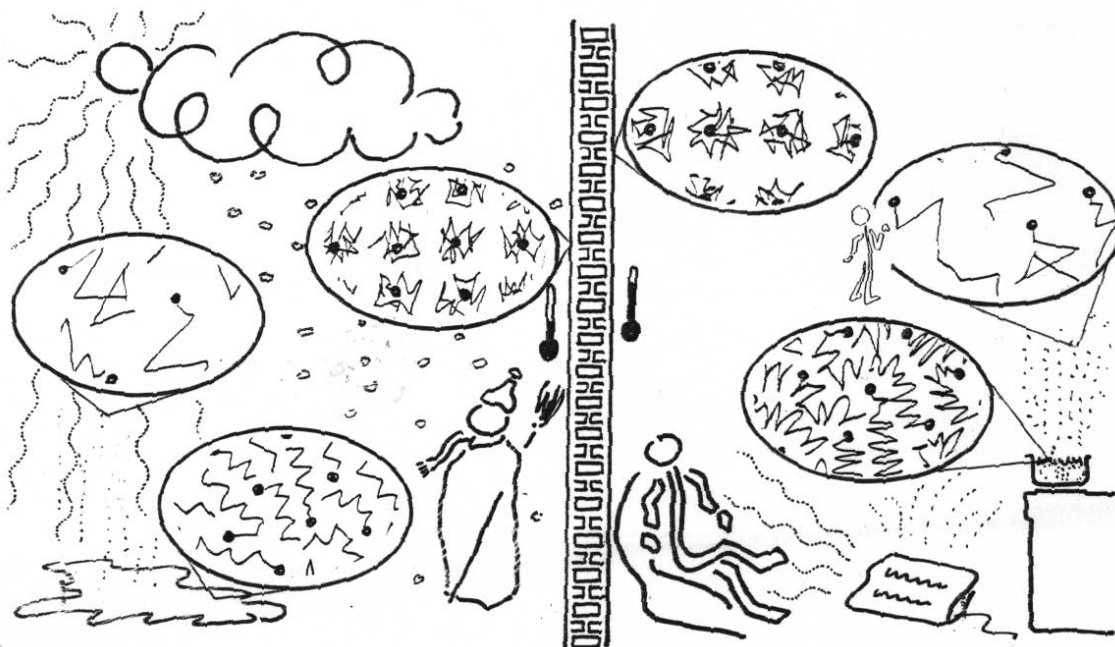
Πρέπει να θυμόμαστε:

Η θερμοκρασία μάς φανερώνει πόσο γρήγορα κινούνται τα μόρια των σωμάτων.

Η θερμότητα είναι η ενέργεια που ρέει από εκεί όπου η θερμοκρασία είναι υψηλότερη προς τα εκεί όπου η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη.

Έτσι μπορούμε να εξηγήσουμε διάφορα φαινόμενα:

- Τη διαφορά της θερμοκρασίας των διάφορων σωμάτων. Αυτή οφείλεται στη διαφορά της ταχύτητας των μορίων τους.
- Τη ροή θερμότητας (δηλαδή ενέργειας). Αυτή οφείλεται επίσης στη διαφορά της ταχύτητας των μορίων, δηλαδή στη διαφορά της ενέργειας που έχουν. Τα μόρια που έχουν μεγαλύτερη ενέργεια προσφέρουν σε αυτά που έχουν μικρότερη.
Εύκολα διαπιστώνουμε βέβαια ότι σε άηθα σώματα η θερμότητα ρέει ευκολότερα και σε άηθα δυσκολότερα. Αυτό οφείλεται και πάλι στις διαφορές του μικρόκοσμου των διάφορων σωμάτων... Ειδικά για τα μέταλλα θα το εξηγήσουμε στη συνέχεια.



- Τη διαστολή των σωμάτων όταν τα θερμαίνουμε, όταν δηλαδή αυξάνουμε τη θερμοκρασία τους. Αυτή οφείλεται στο ότι τα μόρια κινούνται τότε ταχύτερα και αναγκάζονται να απομακρυνθούν σε μεγαλύτερες μεταξύ τους αποστάσεις.
- Την αλλαγή της φυσικής κατάστασης των σωμάτων. Αυτή εξηγείται, επίσης, με τη μελέτη της κίνησης των μορίων τους. (Πώς;) Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία ενός σώματος, τόσο μεγαλώνουν οι ταχύτητες των μορίων του και τόσο μεγαλύτερη ελευθερία στις κινήσεις τους αποκτούν. Έτσι από στερεά είναι δυνατό να μετατραπούν σε υγρά και στη συνέχεια σε αέρια. Και αντίστροφα, όταν ελαττώνεται η θερμοκρασία τους...

ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΜΙΚΡΟ-ΑΝΑΓΝΩΣΜΑ

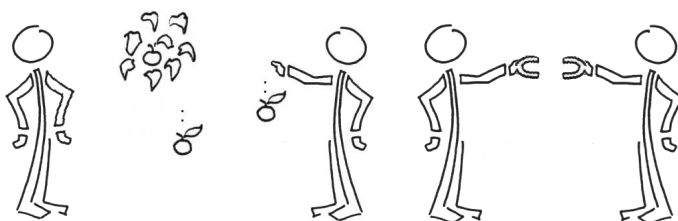
...για τη **δύναμη** και την **πίεση**



Γνωρίσαμε τις δυνάμεις από απόσταση που ασκούνται μεταξύ των μορίων των σωμάτων.
Γνωρίσαμε και τις συνεχείς κινήσεις τους.

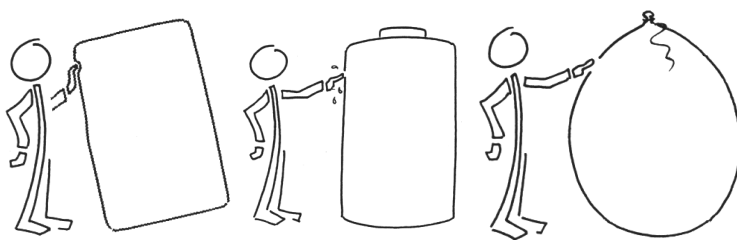
Εμπειρικά γνωρίζουμε, όμως, ότι δυνάμεις ασκούνται και μεταξύ των σωμάτων.

Δυνάμεις από απόσταση, που τις διαπιστώνουμε με πειράματα ή τις αισθανόμαστε.



Δυνάμεις με επαφή, που επίσης τις αισθανόμαστε ή τις διαπιστώνουμε με πειράματα.

Και στα στερεά και στα υγρά και στα αέρια σώματα.



Και οι δυνάμεις από απόσταση και οι δυνάμεις με επαφή μεταξύ των σωμάτων είναι οι δυνάμεις που ασκούν από απόσταση τα μόρια των (διαφορετικών) σωμάτων μεταξύ τους.

Γιατί ακόμη και όταν θεωρούμε ότι δύο σώματα βρίσκονται σε επαφή, τα μόριά τους απέχουν μεταξύ τους. Στον μικρόκοσμο δεν υπάρχει «επαφή» των μορίων!

Εμπειρικά, επίσης, γνωρίζουμε ότι, όπου ασκείται δύναμη, δημιουργείται πίεση.

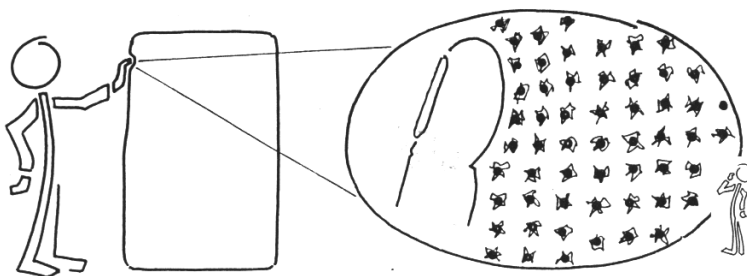
Αντίστροφα, όπου υπάρχει πίεση, ασκείται δύναμη.

Ας πειραματισθούμε και ας εξηγήσουμε το γιατί σε τρεις περιπτώσεις:

Στα στερεά, στα υγρά και στα αέρια σώματα.

Ασκώντας δύναμη σε ένα ελαστικό στερεό σώμα το παραμορφώνουμε. Αναγκάζουμε δηλαδή τα μόρια μιας περιοχής της επιφάνειάς του να υποχωρήσουν.

Έτσι αυτά πλησιάζουν περισσότερο τα γειτονικά τους, τα οποία όμως τα απωθούν ξανά προς τα πίσω και αυτά απωθούν τα μόρια του χεριού μας.

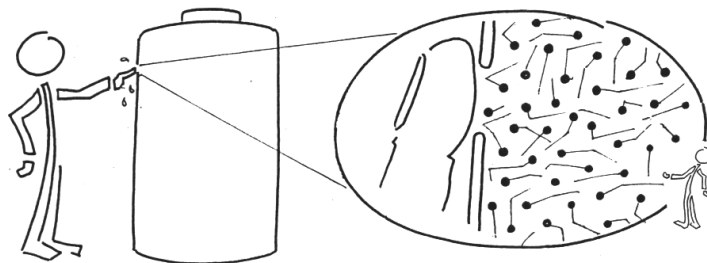


Αυτές τις απωστικές δυνάμεις μεταξύ των μορίων τις αισθανόμαστε. Έτσι διαπιστώνουμε ότι υπάρχει πίεση μέσα στο σώμα.

(συνέχεια) ...για τη δύναμη και την πίεση

Βάζοντας το χέρι μας σε μια τρύπα ενός δοχείου που περιέχει υγρό, εμποδίζουμε τα μόρια του υγρού, που μετακινούνται συνεχώς, να βγουν. Έτσι τα αναγκάζουμε να αλληλάξουν κατεύθυνση. Τους ασκούμε δύναμη. Ταυτόχρονα και αυτά ασκούν δυνάμεις στα μόρια του χεριού μας.

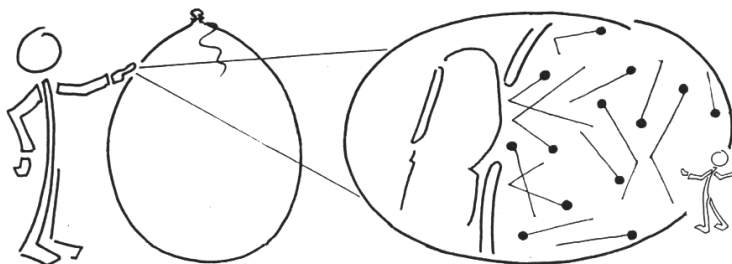
Αυτές τις δυνάμεις τις αισθανόμαστε. Έτσι διαπιστώνουμε ότι υπάρχει πίεση μέσα στο υγρό (αυτήν την πίεση την ονομάζουμε υδροστατική πίεση).



Βάζοντας το χέρι μας σε μια τρύπα ενός μπαλониού που περιέχει αέριο, εμποδίζουμε τα μόρια του αερίου, που μετακινούνται συνεχώς, να βγουν. Έτσι τα αναγκάζουμε να αλληλάξουν κατεύθυνση. Τους ασκούμε δύναμη. Ταυτόχρονα και αυτά ασκούν δυνάμεις στα μόρια του χεριού μας.

Αυτές τις δυνάμεις τις αισθανόμαστε.

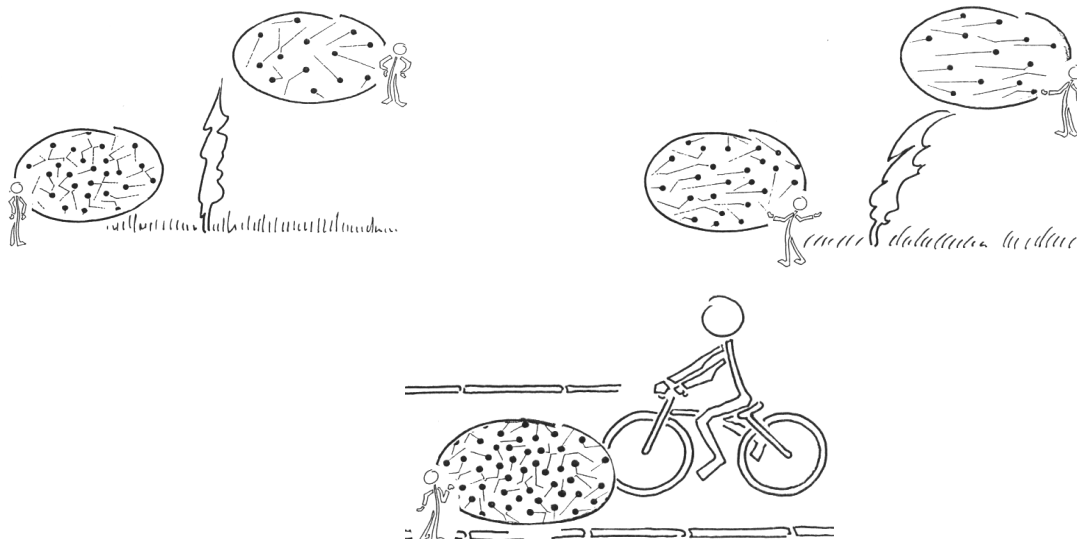
Έτσι διαπιστώνουμε ότι υπάρχει πίεση μέσα στο αέριο (αυτήν την πίεση την ονομάζουμε αεροστατική πίεση).



Ειδικά την πίεση του ατμοσφαιρικού αέρα την ονομάζουμε ατμοσφαιρική πίεση.

Με αυτά που γνωρίζουμε τώρα για την πίεση στα αέρια, μπορούμε να εξηγήσουμε και να συγκρίνουμε τις πιέσεις στις περιπτώσεις που φαίνονται στην εικόνα;

- σε διάφορα ύψη της ατμόσφαιρας όταν δε φυσάει άνεμος;
- σε διάφορα ύψη της ατμόσφαιρας όταν φυσάει άνεμος;
- στο εσωτερικό των αεροθαλάμων των τροχών του ποδηλάτου;



ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΜΙΚΡΟ-ΑΝΑΓΝΩΣΜΑ

...για τα φαινόμενα τριβής



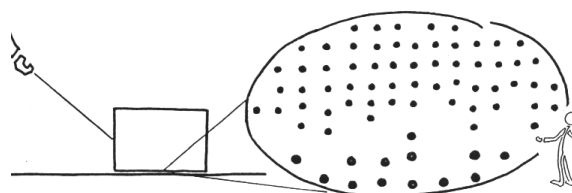
Η μικροσκοπική μελέτη θα μας εξηγήσει (και) τα φαινόμενα της τριβής.

Και η τριβή οφείλεται στις θέσεις, στις κινήσεις και στις δυνάμεις μεταξύ των μορίων των σωμάτων στον μικρόκοσμο. Και των στερεών, αληθιά και των υγρών και αερίων σωμάτων.

Στα στερεά σώματα τριβή εμφανίζεται είτε όταν προσπαθούμε να ολισθήσουμε ένα σώμα ή όταν ολισθαίνει ένα σώμα σε άλλο είτε όταν ένα σώμα κυλίζει επάνω σε άλλο σώμα.

Ας φαντασθούμε τα μόρια που αποτελούν τις επιφάνειες δύο στερεών σωμάτων που ολισθαίνουν το ένα ως προς το άλλο. Τα μόρια, για παράδειγμα, που αποτελούν τις επιφάνειες του κιβωτίου και του δαπέδου της εικόνας.

Υπάρχουν κενές θέσεις μορίων στις επιφάνειες αληθιά και μόρια που προεξέχουν. Αυτά εμποδίζουν ή δυσκολεύουν την ολίσθηση, αφού τα μόρια των στερεών συγκρατούνται μεταξύ τους με ελκτικές δυνάμεις. Τις δυνάμεις αυτές, όταν εμποδίζουν εντελώς την ολίσθηση, ονομάζουμε στατική τριβή. Τις δυνάμεις αυτές, όταν δυσκολεύουν την ολίσθηση (αληθιά τα σώματα ολισθαίνουν), ονομάζουμε τριβή ολίσθησης.

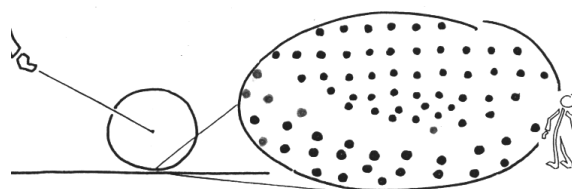


Ας φαντασθούμε, επίσης, τα μόρια που αποτελούν τις επιφάνειες δύο στερεών σωμάτων όταν το ένα κυλίζει επάνω στο άλλο. Τα μόρια, για παράδειγμα, που αποτελούν τις επιφάνειες του τροχού και του δαπέδου της εικόνας στα σημεία επαφής τους.

Οι αποστάσεις μεταξύ των μορίων κάθε σώματος έχουν αληθιά σε σχέση με τις αρχικές τους, λόγω του βάρους του τροχού.

Οι επιφάνειες έχουν παραμορφωθεί, γιατί τα μόρια έχουν μετατοπισθεί. Η επιφάνεια του τροχού έχει γίνει λιγότερο κυκλική, η επιφάνεια του δαπέδου έχει γίνει λιγότερο επίπεδη, έστω και αν δε φαίνεται εύκολα με τα μάτια μας.

Αυτό εμποδίζει ή δυσκολεύει την κύλιση. Εμφανίζεται τριβή που ονομάζεται τριβή κύλισης.

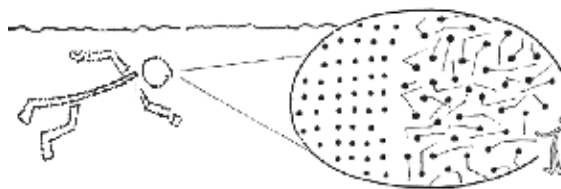


Λόγω της τριβής ολίσθησης και κύλισης τα σώματα θερμαίνονται (γιατί;). Προκαλούνται επίσης φθορές στα σώματα (αφού αποσπώνται μόριά τους). Δημιουργείται μάλιστα και ήχος (γιατί;).

Στα υγρά και στα αέρια σώματα τριβή εμφανίζεται είτε όταν εμείς μετακινούμαστε μέσα σε αυτά είτε όταν αυτά μετακινούνται γύρω μας.

Ας φαντασθούμε τα μόρια των υγρών και των αερίων, καθώς προσπαθούμε να κινηθούμε στο υγρό ή στο αέριο.

Πρέπει να αλληλίζουμε την πορεία των μορίων που συναντούμε. Αυτό σημαίνει ότι ασκούμε μια δύναμη στο καθένα τους. Συγχρόνως και αυτά ασκούν στο σώμα μας δύναμη. Το σύνολο αυτών των δυνάμεων ονομάζουμε τριβή (ή αντίσταση) των υγρών και αερίων.



Η τριβή στα υγρά και αέρια είναι γενικά μικρότερη απ' ό,τι η τριβή ολίσθησης και κύλισης, επειδή τα μόρια των υγρών και αερίων δε βρίσκονται σε σταθερές θέσεις. Γι' αυτό μερικά υγρά χρησιμοποιούνται και ως λιπαντικά ανάμεσα σε στερεά σώματα που ολισθαίνουν ή κυλίζουν.

...για τον ήχο

Τα μόρια όλων των σωμάτων, όπως γνωρίζουμε, βρίσκονται συνεχώς σε άτακτη κίνηση. Κινούνται δηλαδή συνεχώς και με τυχαίο τρόπο το ένα ως προς το άλλο. Αυτές τις κινήσεις τους τις αντιλαμβανόμαστε με τη θερμοκρασία και την πίεση των σωμάτων.



Αλλά και όταν ακούμε ήχους, και μάλιστα αυτούς με μεγάλη ηχηρότητα, αισθανόμαστε κάτι να κινείται. Να δονείται, όπως συχνά λέμε. Μήπως πρόκειται για κάποιες άλλες κινήσεις των μορίων των σωμάτων; Ποιες;



Όταν κτυπάμε ένα στερεό σώμα ή κινούμε κάτι γρήγορα μέσα σε ένα υγρό ή αέριο σώμα, τότε αναγκάζουμε τα μόριά του στην περιοχή του κτυπήματος ή της κίνησης να κάνουν επιπλέον κινήσεις.

Κινήσεις επιπλέον αυτών που αντιλαμβανόμαστε με τη θερμοκρασία και την πίεση. Και διαφορετικές.

Τα μόρια αρχίζουν να «ταλαντώνονται».

Να κινούνται δηλαδή εμπρός και πίσω ή πάνω και κάτω από τις θέσεις που βρίσκονταν αρχικά.

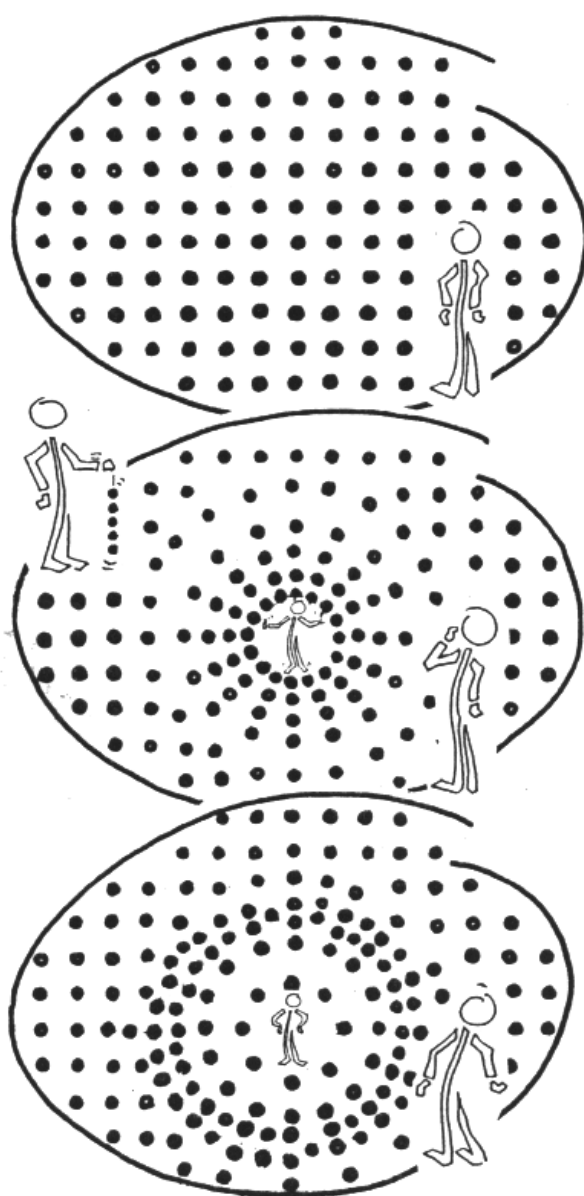
Λόγω όμως των αλληλεπιδράσεων των μορίων, αυτά προκαλούν την «ταλάντωση» και των γειτονικών τους.

Και αυτά των γειτονικών τους...

Έτσι η ταλάντωση μεταδίδεται από μόριο σε μόριο.

Δημιουργούνται τότε πυκνώματα και αραιώματα των μορίων. Τα πυκνώματα και αραιώματα διαδίδονται μέσα στο σώμα. Έχουμε, όπως λέμε, ηχητικό κύμα.

Αν τελικά, από μόριο σε μόριο, το κύμα φθάσει στο τύμπανο του αυτιού μας, ταλαντώνεται και αυτό. Έτσι αντιλαμβανόμαστε το ηχητικό κύμα. Ακούμε ήχο.



ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΜΙΚΡΟ-ΑΝΑΓΝΩΣΜΑ

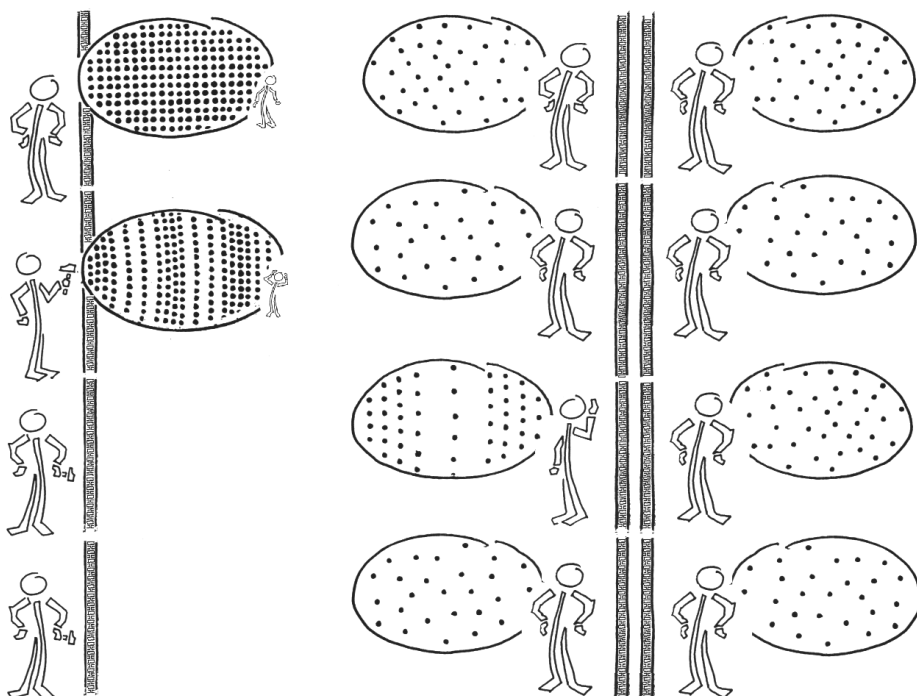
(συνέχεια) ...για τον ήχο



Με αυτά που γνωρίζουμε για τον ήχο, μπορούμε να εξηγήσουμε τη μετάδοση του ήχου στο δωμάτιο που φαίνεται στην εικόνα;

Ο ήχος δημιουργείται με κτύπημα στην εξωτερική πλευρά του ενός τοίχου του δωματίου.

Παρακολουθήστε τη διαδρομή του ηχητικού κύματος. Αν στο εσωτερικό του άλλου τοίχου του δωματίου δεν υπάρχει αέρας, ακούμε τον ήχο έξω από το δωμάτιο; Γιατί;



Γνωρίζοντας ότι ο ήχος δημιουργείται από τις ταλαντώσεις των μορίων των σωμάτων, μπορούμε επίσης να εξηγήσουμε τα διάφορα χαρακτηριστικά του.

Το ύψος του ήχου:

Εξαρτάται από τη συχνότητα των ταλαντώσεων των μορίων (δηλαδή πόσο γρήγορες ή αργές είναι).

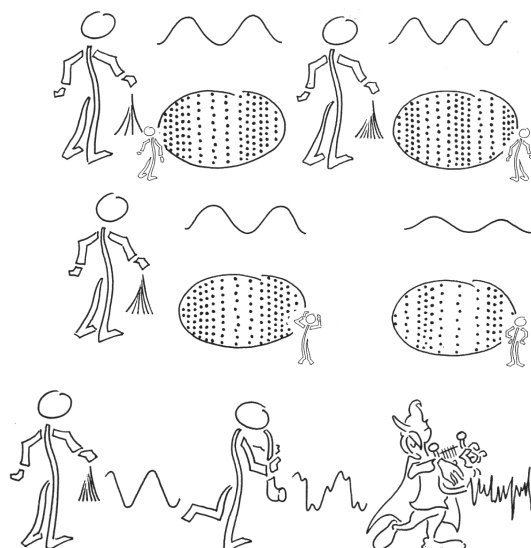
Την ηχηρότητα του ήχου:

Εξαρτάται από το πλάτος των ταλαντώσεων των μορίων (δηλαδή τις αποστάσεις που διανύουν τα μόρια καθώς ταλαντώνονται).

Τη χροιά του ήχου:

Εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο ταλαντώνονται τα μόρια.

Έτσι, ανάλογα με τον τρόπο ταλάντωσης των μορίων, αληθινοί ήχοι είναι απλοί και αρμονικοί, αληθινοί σύνθετοι και αρμονικοί. Υπάρχουν βέβαια και ήχοι μη αρμονικοί, μη μελωδικοί, πολλής φορές δυσάρεστοι...





Για να μελετήσουμε και να εξηγήσουμε μικροσκοπικά τα ηλεκτρικά φαινόμενα, πρέπει να γνωρίσουμε περισσότερα για τον μικρόκοσμο.

Γνωρίζουμε ότι τα μόρια των σωμάτων συγκροτούνται από μικρότερα σωματίδια, τα άτομα.

Τα άτομα συγκροτούνται από τον πυρήνα τους και ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια.

Σε κάθε άτομο τα ηλεκτρόνια κινούνται γύρω από τον πυρήνα. Τα ηλεκτρόνια έχουν πολύ μικρότερη μάζα και πολύ μικρότερο μέγεθος απ' ό,τι ο πυρήνας.

Πρέπει να γνωρίσουμε ακόμη ότι οι πυρήνες και τα ηλεκτρόνια έχουν, εκτός από μάζα, και ηλεκτρικό φορτίο.

Το ηλεκτρικό φορτίο έχει δύο «μορφές». Το διακρίνουμε σε θετικό και αρνητικό φορτίο.

Τα όμοια φορτία απωθούνται. Τα αντίθετα φορτία έλκονται.

Ο πυρήνας κάθε ατόμου έχει θετικό φορτίο. Τα ηλεκτρόνια έχουν αρνητικό φορτίο.

Τα άτομα έχουν συνήθως τόσα ηλεκτρόνια, ώστε το θετικό φορτίο του πυρήνα τους να είναι ίσο με το συνολικό αρνητικό φορτίο των ηλεκτρονίων τους.

Τα ίσα και αντίθετα φορτία ενός ατόμου (και μορίου) ή σώματος, όμως, αλληλοεξουδετερώνονται. Γι' αυτό, τα άτομα (και τα μόρια που συγκροτούν) εμφανίζονται συνήθως ουδέτερα.

(Τα ουδέτερα άτομα και μόρια τα συμβολίζουμε με τον τρόπο που βλέπουμε στη διπλανή εικόνα.

Προσοχή όμως! Τα συμβολίζουμε έτσι, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι είναι έτσι και στην πραγματικότητα. Εξάλλου, δεν είναι δυνατό να τα δούμε...)

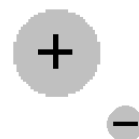


Από κάποια άτομα, όμως, ξεφεύγουν ηλεκτρόνια. Τότε τα άτομα αυτά (και τα μόρια που συγκροτούν) εμφανίζονται θετικά.

Ενώ τα ηλεκτρόνια που ξεφεύγουν κυκλοφορούν (συνεχώς) ελεύθερα ανάμεσα στα άλλα άτομα και μόρια. Τα ονομάζουμε, γι' αυτό, ελεύθερα ηλεκτρόνια.

(Τα θετικά άτομα και μόρια, καθώς και τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, τα συμβολίζουμε με τον τρόπο που βλέπουμε στη διπλανή εικόνα. Προσοχή όμως! Τα συμβολίζουμε έτσι, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι είναι έτσι και στην πραγματικότητα.

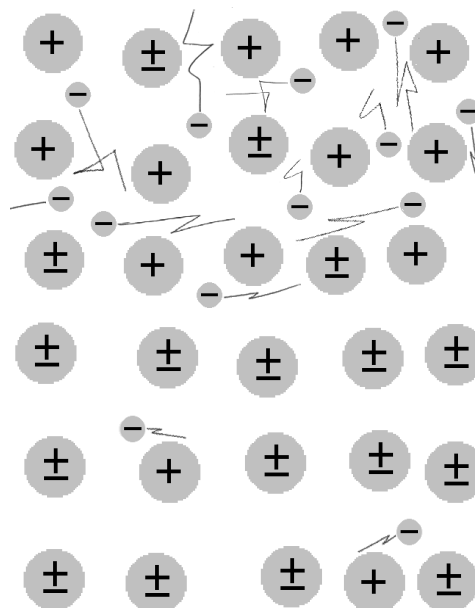
Εξάλλου, δεν είναι δυνατό να τα δούμε...)



Τα πιο πολλά ελεύθερα ηλεκτρόνια τα έχουν τα σώματα που ονομάζουμε αγωγούς. Στους αγωγούς τα ηλεκτρόνια κυκλοφορούν πολύ εύκολα ανάμεσα στα άτομα και στα μόρια. Όλα τα μέταλλα είναι αγωγοί.

Πολύ λίγα ελεύθερα ηλεκτρόνια έχουν τα σώματα που ονομάζουμε μονωτές. Στους μονωτές ηλεκτρόνια ξεφεύγουν δύσκολα από τα άτομα. Κυκλοφορούν επίσης δύσκολα.

Θυμίζουμε ότι τόσο τα ουδέτερα άτομα και μόρια, όσο και τα θετικά άτομα και μόρια, αληθιά και τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, κινούνται συνεχώς και άτακτα, όπως έχουμε εξηγήσει.



ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΜΙΚΡΟ-ΑΝΑΓΝΩΣΜΑ

(συνέχεια) ...για τον ηλεκτρισμό

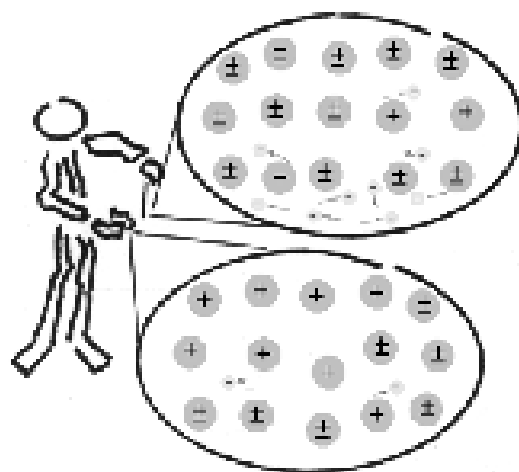


Με αυτά που γνωρίσαμε για τα ηλεκτρικά φορτία του μικρόκοσμου, μπορούμε να εξηγήσουμε μερικά φαινόμενα που παρατηρούμε στη φύση.

Το φαινόμενο της φόρτισης με τριβή σωμάτων που είναι μονωτές.

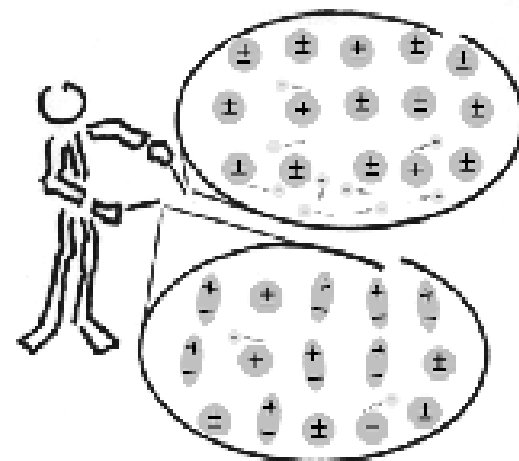
Στο καλαμάκι και στο χαρτομάντιλο της εικόνας πριν την τριβή τους τα περισσότερα μόρια ήταν ουδέτερα, ενώ υπήρχαν πολύ λίγα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Και τα δύο σώματα ήταν ουδέτερα. Μετά την τριβή τους περισσότερα ηλεκτρόνια έγιναν ελεύθερα στο χαρτομάντιλο. Πολλά από αυτά μετακινήθηκαν στο καλαμάκι, όταν τα σώματα ήταν ακόμη κοντά το ένα στο άλλο. Έτσι το καλαμάκι μετά την τριβή έχει περισσότερα αρνητικά φορτία από ό,τι θετικά. Έχει φορτισθεί αρνητικά, ενώ το χαρτομάντιλο έχει φορτισθεί θετικά.

(Το φαινόμενο της φόρτισης με τριβή σωμάτων που είναι αγωγοί δεν παρατηρείται εύκολα με πείραμα. Ηλεκτρόνια μετακινούνται, αλλά διασκορπίζονται και δεν παραμένουν σε μία περιοχή.)

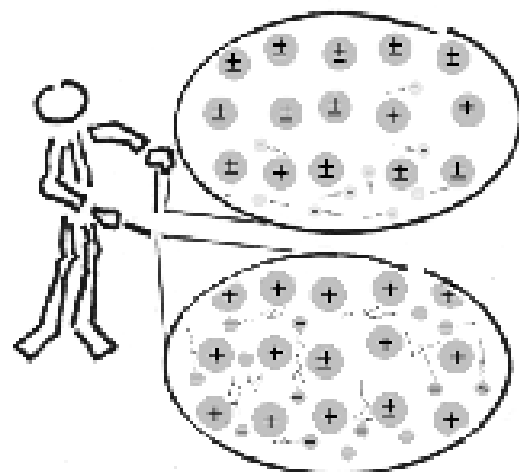


Το φαινόμενο της ηλεκτρίσης με επαγωγή των σωμάτων που είναι είτε μονωτές είτε αγωγοί (από μακριά, πλησιάζοντας άλλο φορτισμένο σώμα).

Πλησιάζοντας το αρνητικά φορτισμένο καλαμάκι σε άλλο αφόρτιστο καλαμάκι (μονωτής), διαχωρίζονται τα φορτία των μορίων του δεύτερου. Τα μόριά του εξακολουθούν να είναι ουδέτερα, αλλά το θετικό και αρνητικό τους φορτίο εμφανίζονται σε ξεχωριστές θέσεις (τα συμβολίζουμε όπως φαίνεται στην εικόνα). Γνωρίζουμε όμως ότι τα αντίθετα φορτία έλκονται, ενώ τα όμοια απωθούνται. Γι' αυτό όλα τα θετικά φορτία των μορίων πλησιάζουν προς το αρνητικά φορτισμένο καλαμάκι. Το καλαμάκι (που πριν ήταν αφόρτιστο) έχει τώρα ηλεκτρισθεί με επαγωγή.



Πλησιάζοντας το αρνητικά φορτισμένο καλαμάκι σε μια ράβδο από μετάλλο (αγωγός), την ηλεκτρίζουμε επίσης με επαγωγή. Με άλλο τρόπο όμως. Σε αυτήν την περίπτωση, το αρνητικά φορτισμένο καλαμάκι απωθεί τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του μετάλλου. Αυτά συγκεντρώνονται σε περιοχές του μετάλλου που είναι μακριά από το φορτισμένο καλαμάκι. Ενώ στην κοντινή περιοχή παραμένουν τα θετικά μόρια. Τα φορτία της μεταλλικής ράβδου διαχωρίζονται σε διαφορετικές θέσεις του σώματος. Έτσι η μεταλλική ράβδος έχει ηλεκτρισθεί. (Τι θα συμβεί, αν στη μεταλλική ράβδο πλησιάσουμε ένα θετικά φορτισμένο σώμα;)



(συνέχεια) ...για τον ηλεκτρισμό



Ας γνωρίσουμε τώρα ένα άλλο, πολύ σημαντικό φαινόμενο του ηλεκτρισμού. Το φαινόμενο του ηλεκτρικού ρεύματος.

Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται όταν ελεύθερα ηλεκτρόνια κινούνται ομαδικά (ή ρέουν) προς μία κατεύθυνση.

Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια κινούνται ομαδικά, και συνιστούν ηλεκτρικό ρεύμα, από αρνητικά σώματα προς θετικά σώματα.

Μια περίπτωση ηλεκτρικού ρεύματος είναι και ο κεραυνός.

Καθώς τα σύννεφα μετακινούνται το ένα ως προς το άλλο, είναι δυνατό να ανταλλάξουν ελεύθερα ηλεκτρόνια. Κάποιο σύννεφο ίσως φορτισθεί θετικά. Κάποιο άλλο αρνητικά.



Αν το αρνητικά φορτισμένο σύννεφο πλησιάσει σε κάποιο υψηλό κτίριο της γης, είναι δυνατό να το ηλεκτρίσει θετικά, όπως εξηγήσαμε στα προηγούμενα.

Τα αρνητικά ηλεκτρόνια του σύννεφου τότε έλκονται από το θετικό φορτίο του κτιρίου.

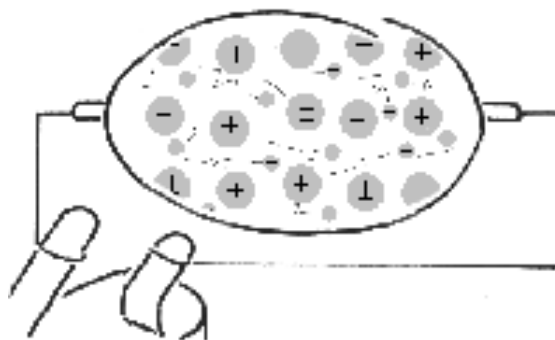
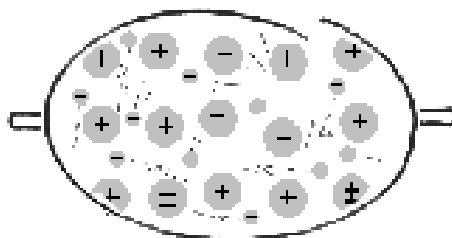


Αν τα ηλεκτρόνια μετακινηθούν ομαδικά προς τη γη, τότε δημιουργείται ηλεκτρικό ρεύμα, που ειδικά σε αυτήν την περίπτωση ονομάζουμε κεραυνό.

Μια άλλη, πολύ συνηθισμένη και χρήσιμη στη ζωή μας, περίπτωση ηλεκτρικού ρεύματος έχουμε όταν συνδέσουμε ένα μεταλλικό σύρμα (αγωγό) με τους πόλους μιας ηλεκτρικής πηγής (π.χ. μπαταρίας). Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του μετάλλου μετακινούνται (ή ρέουν) με κατεύθυνση από τον αρνητικό στον θετικό πόλο.

Προσοχή όμως! Ελεύθερα ηλεκτρόνια υπάρχουν και κινούνται πάντοτε σε έναν αγωγό. Ακόμη και όταν δεν είναι συνδεδεμένος με μπαταρία. Κινούνται όμως τυχαία προς όλες τις κατευθύνσεις. Σε κάθε κατεύθυνση έχουμε τον ίδιο περίπου αριθμό κινούμενων ηλεκτρονίων.

Όταν συνδέσουμε τον αγωγό σε δύο σώματα με αντίθετα ηλεκτρικά φορτία (ή στους πόλους μιας ηλεκτρικής πηγής), τότε τα ηλεκτρόνια που κινούνται από τον αρνητικό πόλο ή σώμα στον θετικό είναι περισσότερα από αυτά που κινούνται προς την άλλη κατεύθυνση (από τον θετικό πόλο ή σώμα προς τον αρνητικό). Έτσι δημιουργείται ηλεκτρικό ρεύμα.



ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΜΙΚΡΟ-ΑΝΑΓΝΩΣΜΑ

(συνέχεια) ...για τον ηλεκτρισμό



Με αυτά που γνωρίζουμε για τα ηλεκτρόνια μπορούμε να εξηγήσουμε και δύο άλλα φαινόμενα.

Δύο φαινόμενα που συνδέουν το ηλεκτρικό ρεύμα με τη θερμότητα και τη θερμοκρασία.

Το πρώτο φαινόμενο είναι πολύ γνωστό από την καθημερινή μας ζωή. Το ηλεκτρικό ρεύμα θερμαίνει τα σώματα μέσα στα οποία ρέει, αυξάνει δηλαδή τη θερμοκρασία τους.

Η εξήγηση είναι απλή:

Ας εξετάσουμε την περίπτωση του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα σε μεταλλικό σύρμα.

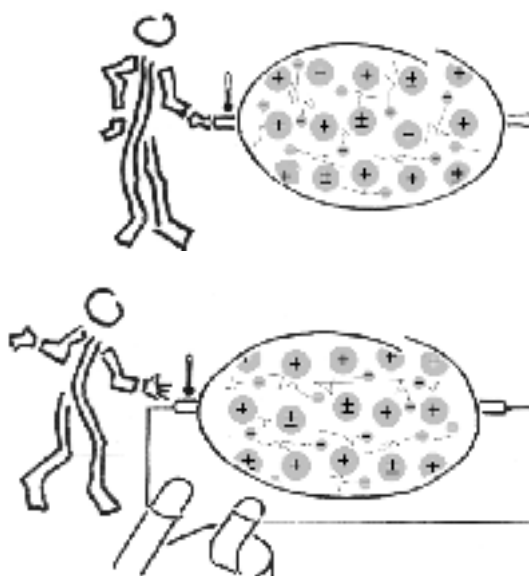
Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, ακόμη και όταν δε δημιουργούν ρεύμα, καθώς κινούνται τυχαία, «συγκρούονται» με μόρια του σύρματος. Ανταλλάσσουν ενέργεια.

Όταν όμως δημιουργούν ρεύμα, κινούνται ταχύτερα και συγχρόνως μετακινούνται ομαδικά.

Τώρα οι συγκρούσεις είναι περισσότερες απ' ό,τι πριν.

Έτσι μεταδίδουν περισσότερη ενέργεια στα μόρια του σύρματος, που αρχίζουν και αυτά να κινούνται ταχύτερα. Μεταδίδεται θερμότητα.

Αυτό σημαίνει όμως αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος...

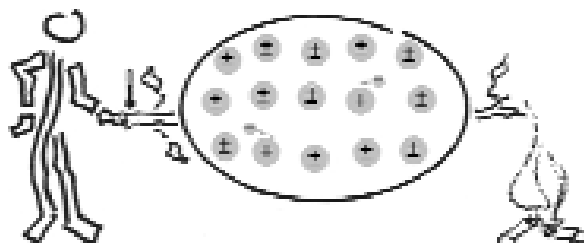


Το δεύτερο φαινόμενο είναι επίσης γνωστό. Η θερμότητα ρέει ευκολότερα και γρηγορότερα στα μεταλλικά σώματα.

Η εξήγηση είναι επίσης απλή:

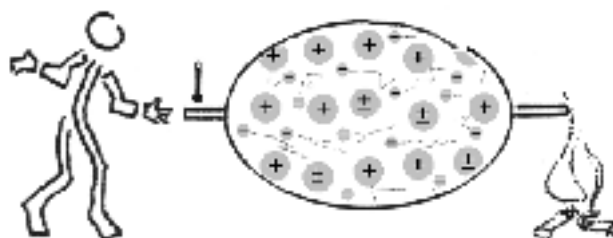
Στα σώματα που δεν έχουν (ή έχουν πολύ λίγα) ελεύθερα ηλεκτρόνια, όπως το ξύλο, η θερμότητα ρέει δύσκολα και αργά, όπως διαπιστώνουμε.

Αυτό οφείλεται στο ότι μεταδίδεται μόνο με αγωγή, από μόριο σε μόριο.



Στα σώματα, όμως, που έχουν πολλά και ευκίνητα ελεύθερα ηλεκτρόνια, όπως τα μέταλλα, η θερμότητα μεταφέρεται και από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια.

Αυτά φθάνουν εύκολα και γρήγορα από τις θερμότερες στις ψυχρότερες περιοχές του μετάλλου. Εκεί «συγκρούονται» με τα άτομα και τα μόρια και τους μεταδίδουν την ενέργειά τους. Μεταδίδεται δηλαδή πιο γρήγορα θερμότητα. Έτσι και σε αυτές τις περιοχές η θερμοκρασία αυξάνεται...



...για τον μαγνητισμό



Τα ηλεκτρόνια του μικρόκοσμου, όμως, δημιουργούν και τα μαγνητικά φαινόμενα.

Πιο συγκεκριμένα, ηλεκτρόνια που κινούνται δημιουργούν τα μαγνητικά φαινόμενα.

Ας εξετάσουμε πρώτα την περίπτωση των ελεύθερων ηλεκτρονίων που κινούνται ομαδικά σε έναν αγωγό. Την περίπτωση δηλαδή του ηλεκτρικού ρεύματος.

Μια μαγνητική πυξίδα μάς πείθει ότι το ηλεκτρικό ρεύμα επιδρά στην πυξίδα ως μαγνήτης. Το ηλεκτρικό ρεύμα συμπεριφέρεται ως μαγνήτης.



Ας εξετάσουμε, στη συνέχεια, την περίπτωση των ηλεκτρονίων που κινούνται μέσα σε άτομα.

Σε πολλές περιπτώσεις οι κινήσεις τους είναι τέτοιες, ώστε τα μόρια που συγκροτούνται από τα άτομα να συμπεριφέρονται επίσης ως μικροσκοπικοί μαγνήτες.

Τα σώματα των οποίων τα μόρια δε συμπεριφέρονται ως μικροί μαγνήτες τα ονομάζουμε μη μαγνητικά σώματα και είναι τα περισσότερα.

Σώματα των οποίων τα μόρια συμπεριφέρονται ως μικροί μαγνήτες ονομάζονται μαγνητικά σώματα, όπως τα περισσότερα μέταλλα.

(Τους μικροσκοπικούς μαγνήτες που αναφέραμε τους συμβολίζουμε συνήθως όπως βλέπουμε στη διπλανή εικόνα. Προσοχή όμως! Τους συμβολίζουμε έτσι, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι είναι έτσι και στην πραγματικότητα. Εξάλλου, δεν είναι δυνατό να δούμε τα άτομα και τα μόρια...)

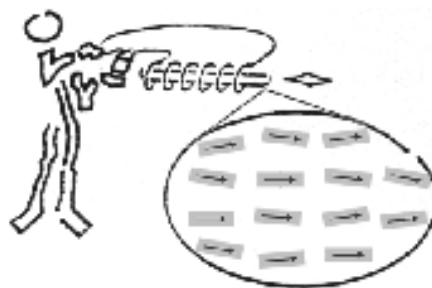


Συνήθως οι μικροσκοπικοί μαγνήτες των μαγνητικών σωμάτων δεν είναι ευθυγραμμισμένοι και αλληλοεξουδετερώνονται. Τότε τα σώματα δεν παρουσιάζουν μαγνητικές ιδιότητες.



Όταν οι μικροσκοπικοί μαγνήτες των μαγνητικών σωμάτων ευθυγραμμισθούν, τότε τα σώματα παρουσιάζουν μαγνητικές ιδιότητες.

Η ευθυγράμμιση των μικροσκοπικών μαγνητών γίνεται από έναν άλλο μαγνήτη ή από ηλεκτρικό ρεύμα.



Οι μαγνήτες χάνουν τις ιδιότητές τους αν τους θερμάνουμε ή αν τους κτυπήσουμε πολλές φορές... (γιατί;)