

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΠΕΔΙΟ Ι

**1.1 Το ηλεκτροστατικό πεδίο (ΗΣΠ)**

**1.2 Ολοκληρωτικά μεγέθη του ΗΣΠ**

**1.3 Χωρητικότητα, πυκνωτής**

**1.4 Ενέργεια και δυνάμεις στο ΗΣΠ**

**1.5 Λυμένα Προβλήματα 1ου Κεφαλαίου**

**1.6 Άλυτα Προβλήματα 1ου Κεφαλαίου**

## Εισαγωγή

Στο μάθημα για τα ηλεκτρικά κυκλώματα διατυπώσαμε τα αξιώματα για το ηλεκτρικό φορτίο και στη συνέχεια εξηγήσαμε το μηχανισμό της αγωγιμότητας σε μεταλλικούς αγωγούς. Εκεί διαπιστώσαμε ότι κάθε μεταλλικός αγωγός παρουσιάζεται προς τα έξω ως ηλεκτρικά ουδέτερος. Ηλεκτρικά φαινόμενα γίνονται αντιληπτά σ' ένα παρατηρητή μόνο από τη στιγμή που με κατάλληλο τρόπο επιτύχουμε ένα διαχωρισμό φορτίων. Στην περίπτωση των μεταλλικών αγωγών επιβάλλεται μια εξωτερική δύναμη, η οποία θα μελετηθεί σ' αυτό και στα επόμενα κεφάλαια του βιβλίου και εξ αιτίας της οποίας τα ελεύθερα ηλεκτρόνια οδεύουν προς το ένα άκρο του αγωγού. Αυτό το άκρο είναι τότε, λόγω πλεονάσματος ηλεκτρονίων, αρνητικά φορτισμένο. Το άλλο άκρο του μεταλλικού αγωγού θα είναι βέβαια, λόγω ελλείμματος ηλεκτρονίων, θετικά φορτισμένο.

Για να υπάρξει λοιπόν ένα ηλεκτρικά φορτισμένο σώμα ή, γενικότερα, μια φορτισμένη περιοχή του χώρου, πρέπει να υπάρχει ταυτόχρονα ένα δεύτερο σώμα ή μια δεύτερη περιοχή, επίσης ηλεκτρικά φορτισμένη, αλλά με αντίθετο είδος φορτίου. Αν μεταξύ των δύο φορτισμένων περιοχών δημιουργηθεί αγωγή και πάψει να επενεργεί η εξωτερική δύναμη που προκάλεσε το διαχωρισμό φορτίων, τότε εξισορροπούνται τα ηλεκτρικά φορτία των δύο περιοχών. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια απομακρύνονται από την περιοχή που παρουσιάζει πλεόνασμα και οδεύουν προς την περιοχή με έλλειμμα ηλεκτρονίων. Τελικά, χωρίς να έχει εξαφανιστεί ή δημιουργηθεί φορτίο, προκύπτει ένα ηλεκτρικά ουδέτερο σύνολο (βλέπε επίσης στο Κεφάλαιο 2).

Σ' αυτό το κεφάλαιο θα εξετάσουμε διατάξεις, στις οποίες έχει γίνει διαχωρισμός φορτίων, χωρίς να υπάρχει αγωγή σύνδεση μεταξύ των δύο φορτισμένων περιοχών ή πόλων. Έτσι, σ' αυτές τις διατάξεις υπάρχει ένας πόλος με πλεόνασμα ηλεκτρονίων, ο οποίος ονομάζεται αρνητικός πόλος κι ένας δεύτερος, με έλλειμμα ηλεκτρονίων, ο θετικός πόλος.

Κύριος στόχος των αναπτύξεων που θα ακολουθήσουν είναι, σε διαφοροποίηση με τη Φυσική, να καταλήξουμε σε σχέσεις και μεθόδους χρήσιμες στις τεχνικές εφαρμογές. Γι' αυτό το λόγο, διάφορα φαινόμενα που είναι μεν γνωστά από τη Φυσική αλλά δεν έχουν κάποια προφανή σημα-

σία για τις τεχνικές εφαρμογές και δεν είναι απαραίτητα για την κατανόηση όσων ακολουθούν, είτε αναφέρονται εδώ συνοπτικά, είτε παραλείπονται εντελώς. Για να αποκτήσει λοιπόν ο αναγνώστης μία ολοκληρωμένη εικόνα για τα φαινόμενα πρέπει να μελετήσει παράλληλα καλά βιβλία της Φυσικής.

Τα ηλεκτρικά φορτία που εξετάζονται σε τεχνικά προβλήματα είναι συνήθως συγκεντρωμένα. Συχνά εξετάζουμε για λόγους ευκολίας σημειακά φορτία. Ως σημειακό φορτίο θεωρούμε π.χ. μία σφαίρα, της οποίας η ακτίνα τείνει να μηδενιστεί.

Μερικές φορές πάλι, είναι αναγκαίο να εξετάσουμε κατανεμημένα φορτία. Για το σκοπό αυτό ορίζουμε μεγέθη πυκνότητας που περιγράφουν φορτία ανηγμένα σε όγκο, σε επιφάνεια ή σε καμπύλη. Αυτά τα μεγέθη πυκνότητας έχουν τη μορφή:

πυκνότητα χωρικού φορτίου:  $\rho = \frac{dq}{dV}$  με μονάδα  $C/m^3$

πυκνότητα επιφανειακού φορτίου:  $\sigma = \frac{dq}{dS}$  με μονάδα  $C/m^2$  (1.1)

πυκνότητα γραμμικού φορτίου:  $\lambda = \frac{dq}{dl}$  με μονάδα  $C/m$

Σημειώνουμε εδώ ότι αυτές οι πυκνότητες αναφέρονται στο εκάστοτε συνολικό φορτίο και όχι στα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Έτσι, η πυκνότητα χωρικού φορτίου  $\rho$  ένα μεταλλικό αγωγό είναι πάντα μηδενική, αφού το συνολικό φορτίο του αγωγού απαρτίζεται από το φορτίο των ελεύθερων ηλεκτρονίων και από το ίσο και αντίθετο φορτίο των (θετικών) ιόντων του ατομικού πλέγματος.

Σύμφωνα με το σημερινό επίπεδο γνώσεών μας, το ηλεκτρικό φορτίο είναι το θεμελιώδες αίτιο για τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα στη φύση. Συγκεκριμένα, το ακίνητο ηλεκτρικό φορτίο είναι το αίτιο για τη δημιουργία μιας καταστάσεως στο χώρο που ονομάζεται Ηλεκτροστατικό Πεδίο (ΗΣΠ). Με το ΗΣΠ θα ασχοληθούμε σ' αυτό το κεφάλαιο του

βιβλίου. Το κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο περιγράφεται με ένα Στάσιμο Ηλεκτρικό Πεδίο (ΣΗΠ). Σ' αυτό το πεδίο αποδίδουμε τη δημιουργία του ηλεκτρικού ρεύματος που έχουμε ήδη γνωρίσει από τα ηλεκτρικά κυκλώματα και θα επανεξετάσουμε στο δεύτερο κεφάλαιο του βιβλίου. Πέρα απ' αυτό, το κινούμενο φορτίο είναι αίτιο για τη δημιουργία μίας ακόμα καταστάσεως στο χώρο, του Μαγνητικού Πεδίου (ΜΠ), με το οποίο θα ασχοληθούμε διεξοδικά στα κεφάλαια 3 και 4 αυτού του βιβλίου. Συνολικά λοιπόν, το κινούμενο φορτίο δημιουργεί ένα Ηλεκτρομαγνητικό Πεδίο (ΗΜΠ). Η ολοκληρωμένη εξέταση των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων γίνεται στη Θεωρητική Ηλεκτρολογία. Στο πλαίσιο αυτού του βιβλίου (5 και 6 κεφάλαιο) θα γίνουν ορισμένες απλουστευμένες αναφορές, ώστε να είναι εύκολο το πέρασμα για κάθε ενδιαφερόμενο από τη Βασική στη Θεωρητική Ηλεκτρολογία.

Τελειώνοντας αυτή την εισαγωγή, μία προειδοποίηση που εμπεριέχει και υπόδειξη με γενικότερη σημασία: Για την ευκολότερη κατανόηση συσχετισμών και μεθόδων εξετάζουμε κατά κανόνα τέλειες σχέσεις γεωμετρίας και ιδανικές ιδιότητες υλικών. Η πραγματικότητα, η Τεχνική συγκεκριμένα, είναι όμως σύνθετη και συχνά πολύπλοκη. Η γεωμετρία ξεφεύγει συνήθως από τις τέλειες μορφές και τα υλικά είναι σχεδόν πάντα ατελή! Ο αναγνώστης που έχει ως στόχο τη μελέτη των τεχνικών εφαρμογών, πρέπει να αναρωτιέται σε κάθε βήμα, πώς μεταβάλλεται το ένα ή το άλλο μέγεθος, ή πώς επηρεάζεται μία μέθοδος ή, ακόμα, ποια πρόσθετα φαινόμενα προκαλούνται, όταν ξεφύγουμε οριακά από τις ιδανικές προϋποθέσεις.

Η συνεχής σύγκριση της ιδεατής με την πραγματική κατάσταση δίνει τη δυνατότητα για κατανόηση σημαντικών λεπτομερειών, τον εντοπισμό τυχόν αντιφάσεων και την αναγνώριση προεκτάσεων που δεν είναι δυνατόν να συμπεριληφθούν στη Βασική Ηλεκτροτεχνία και να χωρέσουν σ' ένα εισαγωγικό βιβλίο, όπως είναι το παρόν. Αλλά και ως παιδαγωγικό μέσον έχει σημασία αυτή η μεθόδευση: Έτσι καταρρέει η σχολικής προελεύσεως αντίληψη για το «σωστό τύπο», τον οποίο πρέπει «να ξέρουμε απ' έξω» για να λύνουμε μ' αυτόν πολλά, αν όχι όλα τα τεχνικά προβλήματα. Στην πραγματικότητα, κάθε τύπος και γενικότερα, κάθε σχέση μεταξύ φυσικών μεγεθών, περιγράφει μία στενά οριοθετημένη και εξιδα-

νικευμένη συγκυρία με, κατά κανόνα, πολλές απλουστευτικές παραδοχές και προϋποθέσεις.

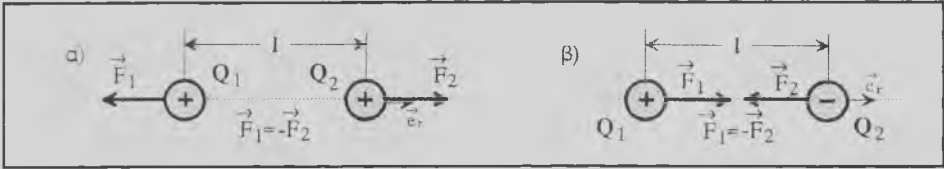
Ο τεχνικός πρέπει να είναι σε θέση να κρίνει σε κάθε τεχνικό πρόβλημα που επιθυμεί να λύσει, ποιες από τις εξιδανικευτικές παραδοχές, οι οποίες ισχύουν για μία σχέση μεταξύ φυσικών μεγεθών, συμπίπτουν ή προσεγγίζουν τη συγκυρία του προβλήματος και ποιες επιπλέον παραδοχές ή και απλοποιήσεις πρέπει να λάβει υπόψη του, ώστε να έχει τη βεβαιότητα ότι αυτό που υπολόγισε είναι πράγματι η ζητούμενη λύση του προβλήματος.

Αυτή η διαδικασία δεν είναι πάντα εύκολη, αποτελεί όμως το κατεξοχήν αντικείμενο απασχολήσεως των τεχνικών και εκπαιδευτικό στόχο των σχολών τεχνικής κατευθύνσεως. Σε αντίθεση με αυτό, ο Φυσικός προσανατολίζεται στη διαπίστωση και περιγραφή των νόμων της φύσης, γι' αυτό διαφοροποιείται και ο εκπαιδευτικός στόχος στις φυσικομαθηματικές σχολές από εκείνο των τεχνικών σχολών. Αυτό δεν αποτελεί αξιολογική διαβάθμιση, εξηγεί όμως αυτό που αναφέραμε προηγουμένως, δηλαδή ότι διαφέρουν τα εκπαιδευτικά βοηθήματα (βιβλία, εργαστηριακές ασκήσεις κτλ.) της Τεχνικής από εκείνα της Φυσικής, αν και αμφότερα καλύπτουν τις ίδιες περιοχές γνώσεων (Μηχανική, Ηλεκτρισμός, Θερμότητα κτλ.)

## 1.1 Το Ηλεκτροστατικό Πεδίο (ΗΣΠ)

Στα επόμενα θα εξετάσουμε τα φαινόμενα που προκαλούνται από το διαχωρισμό φορτίων, τα οποία είναι μεταξύ τους και ως προς ένα παρατηρητή ακίνητα. Θεωρούμε επίσης ότι μεταξύ των φορτισμένων περιοχών του χώρου δεν υπάρχει αγωγή και σύνδεση κι έτσι δεν είναι δυνατή η αμοιβαία εξουδετέρωση των διαχωρισμένων φορτίων.

**1.1.1 Ο νόμος του Coulomb:** Από τη Φυσική είναι γνωστά τα πειράματα που οδήγησαν στη διατύπωση του νόμου του Coulomb: Δύο φορτία έλκονται ή απωθούνται με δύναμη, η οποία είναι ανάλογη του γινομένου των δύο φορτίων και αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της αποστάσεώς τους. Με μαθηματικά σύμβολα αυτό σημαίνει:



Σχήμα 1.1: Δυνάμεις α) Απωθήσεως και β) Έλξης μεταξύ φορτίων.

$$F_{\text{ηλεκτρ.}} \sim \frac{Q_1 Q_2}{l^2} \quad (1.2\alpha)$$

Αυτή η δύναμη αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως δύναμη Coulomb. Το είδος των φορτίων είναι καθοριστικό για την κατεύθυνση της δυνάμεως. Αν τα δύο φορτία είναι ομόνυμα (και τα δύο θετικά ή και τα δύο αρνητικά), τότε η δύναμη μεταξύ τους είναι απωθητική. Για ετερόνυμα φορτία η δύναμη είναι ελκτική (Σχήμα 1.1).

Καταρχήν είναι απαραίτητο να ορίσουμε ένα συντελεστή, με τη βοήθεια του οποίου θα περάσουμε από την αναλογία (1.2α) σε μία ισότητα. Ο νόμος του Coulomb χρησιμοποιήθηκε παλαιότερα (cgs) για τον ορισμό της διαστάσεως του ηλεκτρικού φορτίου  $F = Q_1 Q_2 / l^2$ , χωρίς συντελεστή αναλογίας. Στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI) η διάσταση της δυνάμεως προκύπτει από τις βασικές διαστάσεις της μάζας, του μήκους και του χρόνου και η διάσταση του φορτίου από τις βασικές διαστάσεις του χρόνου και της εντάσεως του ρεύματος. Για το λόγο αυτό απαιτείται να συμπεριληφθεί στο νόμο του Coulomb μια σταθερά αναλογίας  $k_e$ , για να ταιριάξουν οι διαστάσεις στις δύο πλευρές της εξίσωσης:

$$F_{\text{ηλεκτρ.}} = k_e \frac{Q_1 Q_2}{l^2} \quad (1.2\beta)$$

Η σταθερά  $k_e$  δίνεται στη μορφή  $1/4\pi\epsilon$  για λόγους που θα εξηγηθούν αργότερα.  $\epsilon$  είναι πάλι μια σταθερά, της οποίας η σημασία θα εξηγηθεί στο εδάφιο 1.1.3. Για τη μονάδα της σταθεράς  $\epsilon$  ακολουθεί από την εξίσωση (1.2β):

$$[\varepsilon] = \frac{1}{[k_e]} = \frac{A^2 s^4}{kg \cdot m^3}$$

Η εξίσωση (1.2β) πρέπει να συμπληρωθεί ακόμα! Η δύναμη είναι διανυσματικό μέγεθος, άρα έχει μέτρο και κατεύθυνση. Το φορτίο  $Q$  δεν είναι βέβαια διανυσματικό μέγεθος, γι' αυτό πρέπει να χρησιμοποιήσουμε ένα μοναδιαίο, αδιάστατο διάνυσμα  $e_r$ , το οποίο θα δίνει την κατεύθυνση της δυνάμεως  $\vec{F}_{ηλ}$ . Ο νόμος του Coulomb παίρνει τελικά τη μορφή:

$$\vec{F}_{ηλ} = e_r \frac{1}{4\pi\varepsilon} \frac{Q_1 Q_2}{l^2} \quad (1.2\gamma)$$

Στο σχήμα 1.1 έχει σχεδιαστεί για κάθε μια περίπτωση το μοναδιαίο διάνυσμα.

Τώρα είναι σκόπιμο να διατυπωθούν ορισμένα σχόλια για το νόμο του Coulomb, όπως αυτός περιγράφεται από την εξίσωση (1.2γ). Αναφέραμε εισαγωγικά ότι κάθε μεμονωμένο φορτίο που γίνεται αντιληπτό, θετικό ή αρνητικό, προκύπτει από διαχωρισμό. Δηλαδή, αρχικά επικρατούσε μια ουδέτερη κατάσταση και στη συνέχεια, με κάποια φυσική ή τεχνική διεργασία διαχωρίστηκαν τα φορτία, με αποτέλεσμα να σχηματιστούν δύο φορτισμένοι πόλοι. Όταν συναντάμε λοιπόν ένα φορτίο  $Q$ , πρέπει να συμπεράνουμε ότι κάπου αλλού υπάρχει ένας δεύτερος πόλος με ίσο και αντίθετο φορτίο,  $-Q$ . Στο νόμο του Coulomb παρουσιάζονται όμως δύο διαφορετικά φορτία,  $Q_1$  και  $Q_2$ . Αυτό σημαίνει ότι σε κάποιες απομακρυσμένες θέσεις του χώρου υπάρχουν πόλοι με φορτία  $-Q_1$  και  $-Q_2$ . Επειδή στη Φυσική και στην Τεχνική εξυπηρετεί συχνά να μιλάμε για ένα φορτίο, χωρίς να εξετάζουμε υποχρεωτικά το ίσο και αντίθετό του, θεωρούμε ότι ο δεύτερος πόλος βρίσκεται πολύ μακριά, στο άπειρο (\*). Πρακτικά, αρκεί το δεύτερο φορτίο να βρίσκεται σε τέτοια απόσταση, ώστε να μην μπορεί να επηρεάσει τη διάταξη που εξετάζουμε.

---

(\*) Το άπειρο δεν είναι απλώς ένα σημείο, αλλά μια σφαίρα με «άπειρη ακτίνα», στο κέντρο της οποίας βρίσκεται το φορτίο  $+Q$ . Όταν λέμε ότι το φορτίο  $-Q$  είναι στο «άπειρο», εννοούμε ότι αυτό το φορτίο είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο στην επιφάνεια της σφαίρας. Βλέπε και εδάφιο 1.1.4.

Με όσα αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, τίθεται το ερώτημα για την περιοχή ισχύος του νόμου του Coulomb. Καταρχήν αναφέρουμε ότι αυτός ο νόμος ισχύει μόνο για *σημειακά* φορτία! Μπορούμε όμως να επεκτείνουμε την ισχύ του προσεγγιστικά και για φορτισμένα σώματα, εφόσον οι γραμμικές διαστάσεις τους είναι πολύ μικρότερες από την απόσταση μεταξύ τους. Όσον αφορά τώρα τις αποστάσεις, εκτιμάται ότι ο νόμος του Coulomb ισχύει με βεβαιότητα από περίπου  $10^{-15} \text{ m} = 1 \text{ fm}$ , μέχρι αρκετά χιλιόμετρα. Θεωρείται ότι κάτω από  $1 \text{ fm}$  δεν ισχύει γενικότερα η κλασική Ηλεκτρομαγνητική Θεωρία.

Μια άλλη αξιόλογη παρατήρηση για το νόμο του Coulomb αφορά τη δομή του. Είναι εντυπωσιακό ότι στον παρονομαστή των σχέσεων (1.2) βρίσκεται ακριβώς η δεύτερη δύναμη της αποστάσεως,  $l^2$ , και όχι ένας άλλος μη ακέραιος εκθέτης. Αυτό είναι αξιοπερίεργο, γιατί γνωρίζουμε ότι στη φύση δεν προκύπτουν λειτουργίες που περιγράφονται από ακέραιους αριθμούς, από κανονικά γεωμετρικά σχήματα κ.ο.κ. Για το νόμο του Coulomb έχει όμως αποδειχθεί πειραματικά και με ακρίβεια της τάξης του  $10^{-9}$  ότι ο εκθέτης του παρονομαστή των εξισώσεων (1.2) είναι ακέραιος, ακριβώς 2.

Κάτι που επίσης ενδιαφέρει στο πλαίσιο αυτών των διερευνήσεων είναι η επαλληλία. Δύο φορτία εξασκούν σ' ένα τρίτο συνολική δύναμη, η οποία κατά μέτρο και φορά προκύπτει από το διανυσματικό άθροισμα των επιμέρους δυνάμεων. Με άλλα λόγια: Η δύναμη που εξασκείται μεταξύ δύο φορτίων δεν επηρεάζεται από την παρουσία ενός ή περισσότερων επιπλέον φορτίων. Αυτό οφείλεται στην επαλληλία ή υπέρθεση δράσεων που γνωρίσαμε ήδη για ηλεκτρικά κυκλώματα. Προϋπόθεση για την ισχύ της επαλληλίας είναι η *γραμμικότητα* του χώρου (π.χ. αέρας, βλέπε εδάφιο 1.1.3).

Σκόπιμο είναι τέλος να συγκρίνουμε μεταξύ τους την ηλεκτρική και τη βαρυτική δύναμη που εξασκούν αμοιβαία δύο φορτισμένα σωματίδια, για παράδειγμα δύο ηλεκτρόνια. Από το νόμο του Coulomb έχουμε την ηλεκτρική δύναμη  $F_{\eta\lambda} = k_e q_e^2 / l^2$  και από το νόμο του Νεύτωνα τη βαρυτική δύναμη  $F_{\beta\alpha\rho} = k_g m_e^2 / l^2$ . Διαιρούμε αυτές τις εξισώσεις κατά μέλη και αντικαθιστούμε τις αριθμητικές τιμές για το φορτίο και τη μάζα του ηλε-



κτρονίου καθώς και τις σταθερές  $k_e$  και  $k_g$ , οπότε προκύπτει:

$$\frac{F_{\eta\lambda}}{F_{\beta\alpha\rho}} = 4 \times 10^{42}$$

Η ηλεκτρική δύναμη είναι λοιπόν  $4 \times 10^{42}$  φορές μεγαλύτερη από τη βαρυτική. Πέρα δε από αυτή την τεράστια ποσοτική διαφορά, υπάρχει και μία ποιοτική: Η βαρυτική δύναμη είναι αποκλειστικά ελκτική ενώ η ηλεκτρική δύναμη μπορεί να είναι, λόγω των δύο ειδών φορτίου, άλλοτε ελκτική και άλλοτε απωθητική.

**1.1.2 Τα διανυσματικά μεγέθη του ΗΣΠ:** Ο νόμος του Coulomb δίνει την αμοιβαία δύναμη μεταξύ δύο φορτίων ως αποτέλεσμα μιας δράσης εξ αποστάσεως με άμεσο αποτέλεσμα, χωρίς χρονική υστέρηση. Δηλαδή, σ' ένα σημείο του χώρου υπάρχει ένα φορτίο  $Q_1$ , σ' ένα άλλο σημείο, κοντινό ή μακρινό, υπάρχει ένα δεύτερο φορτίο  $Q_2$ . Στη θέση του φορτίου  $Q_2$  γίνεται αντιληπτή μια δράση (εξάσκηση δυνάμεως), της οποίας το αίτιο βρίσκεται στο φορτίο  $Q_1$ . Το ίδιο ακριβώς ισχύει και αντίστροφα! Ο χώρος που παρεμβάλλεται μεταξύ των δύο φορτίων λαμβάνεται μεν υπόψη ως υλικό με συντελεστή  $\epsilon$ , αλλά κατά τ' άλλα φαίνεται να είναι αμέτοχος στην εξάσκηση της δυνάμεως. Επίσης, χωρίς καμία επίδραση είναι ο χρόνος.

Υπάρχουν φαινόμενα όμως, τα οποία δεν είναι δυνατόν να εξηγηθούν με την εξ αποστάσεως δράση. Αναφέρουμε ως απλό παράδειγμα την επικοινωνία πομπού-δέκτη: Ένας πομπός στέλνει τη χρονική στιγμή  $t, t \in [0, t_1]$  ένα σήμα (ηλεκτρομαγνητική ενέργεια) με χρονική διάρκεια  $\Delta t$ , όπου  $t + \Delta t < t_1$  και αμέσως μετά διακόπτει τη λειτουργία του. Γνωρίζουμε από πειράματα ότι αυτό το σήμα λαμβάνεται από δέκτες σε μεγάλες αποστάσεις με μία χρονική υστέρηση. Έστω λοιπόν ότι ένας δέκτης που βρίσκεται αρκετά μακριά από τον πομπό, λαμβάνει το σήμα τη χρονική στιγμή  $t, t \in [t_2, t_3]$  με  $t_2 > t_1$ . Σε κάποια ενδιάμεση χρονική στιγμή  $t^*$ , για την οποία ισχύει:

$$t_1 < t^* < t_2,$$

ο πομπός έχει στείλει το σήμα και έχει διακόψει την εκπομπή, ενώ ο δέκτης δεν έχει λάβει ακόμα το σήμα. Επειδή η ενέργεια που είναι ο φορέας του σήματος εκπομπής, δεν είναι δυνατόν να εξαφανίστηκε, πρέπει να υποθέσουμε ότι τη χρονική στιγμή  $t^*$  βρίσκεται «αποθηκευμένη» στο χώρο μεταξύ πομπού και δέκτη. Για να εξηγηθούν τέτοια φαινόμενα απαιτείται λοιπόν μία θεώρηση, η οποία να συνυπολογίζει την κατάσταση του χώρου κατά την εξέλιξη ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων. Σε αντιδιαστολή με τη θεώρηση της δράσης εξ αποστάσεως, εισάγουμε γι' αυτό το λόγο τη θεώρηση του πεδίου.

Πεδίο είναι, γενικότερα, μία κατάσταση στο χώρο, η οποία γίνεται αντιληπτή κατά διάφορους τρόπους. Το *ηλεκτρομαγνητικό πεδίο* είναι ένα δυναμικό πεδίο, δηλαδή σ' αυτό το πεδίο εξασκούνται δυνάμεις σε κατάλληλα δοκιμαστικά *υποθέματα*. Στη Φυσική ορίζονται επίσης μη δυναμικά πεδία, π.χ. το πεδίο θερμοκρασίας σ' ένα χώρο. Σ' αυτό το πεδίο δεν εξασκούνται δυνάμεις.

Θα εξετάσουμε τώρα τον τρόπο, με τον οποίο θα ορίσουμε το ηλεκτροστατικό πεδίο, δηλαδή το πεδίο που δημιουργείται από ακίνητα ηλεκτρικά φορτία. Για το σκοπό αυτό γράφουμε το νόμο του Coulomb στην εξής μορφή:

$$F_2 = Q_2 \left( \frac{Q_1}{4\pi \cdot \epsilon \cdot l^2} \right) \quad (1.3\alpha)$$

$F_2$  είναι η δύναμη που εξασκείται από το φορτίο  $Q_1$  στο φορτίο  $Q_2$  (Σχήμα 1.1). Θεωρούμε τώρα ότι το φορτίο  $Q_1$  δημιουργεί στον περιβάλλοντα χώρο μία ιδιόμορφη κατάσταση που έχει ως αποτέλεσμα να εξασκηθεί στο φορτίο  $Q_2$  η δύναμη  $F_2$ . Αυτή η κατάσταση στο χώρο ονομάζεται *ηλεκτροστατικό πεδίο* (ΗΣΠ).

Για να περιγράψουμε ποσοτικά (μαθηματικά) την κατάσταση που προαναφέραμε, ορίζουμε ένα μέγεθος:

$$E_1 = \frac{Q_1}{4\pi \cdot \epsilon \cdot l^2} \quad (1.3\beta)$$