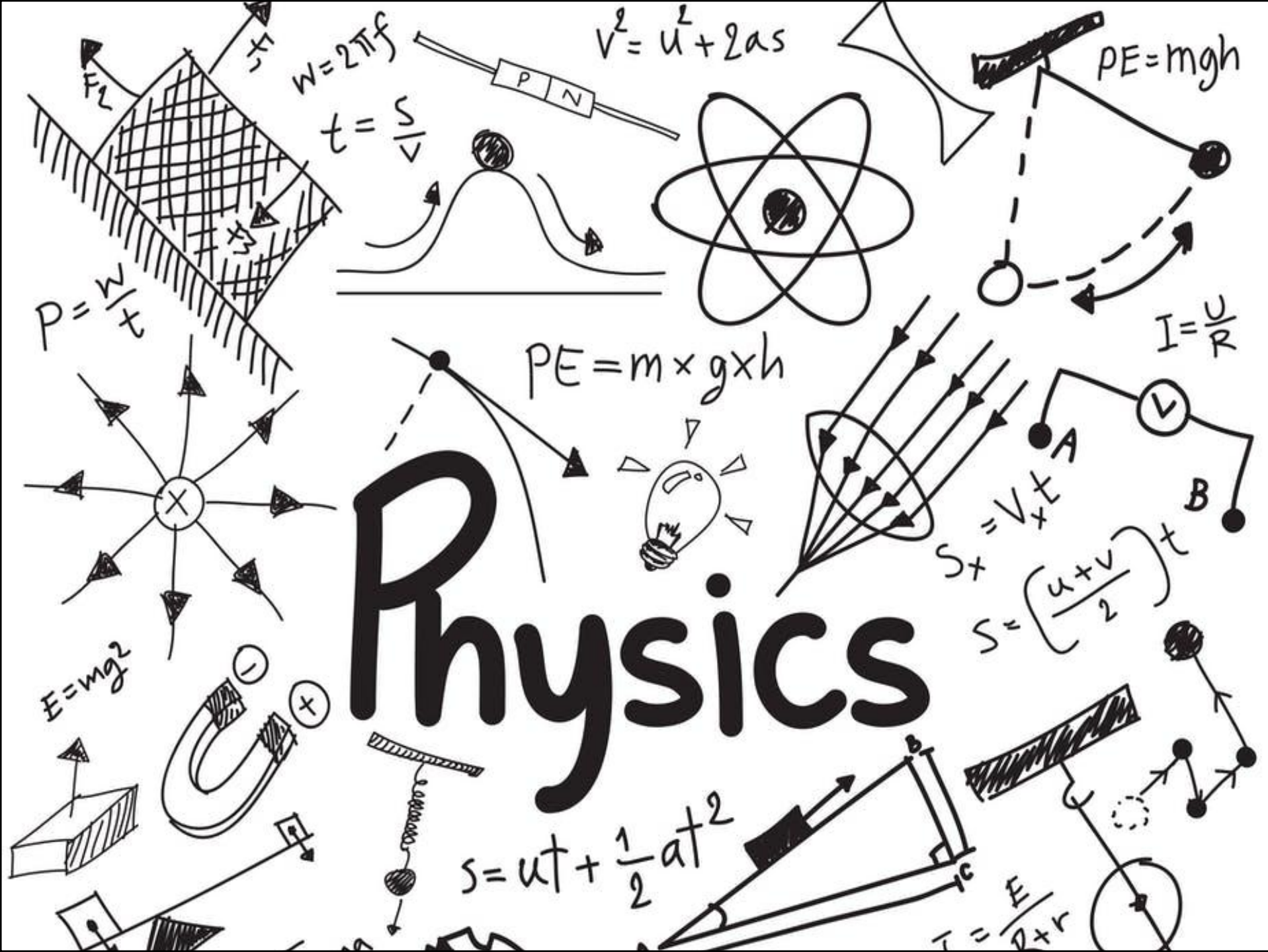
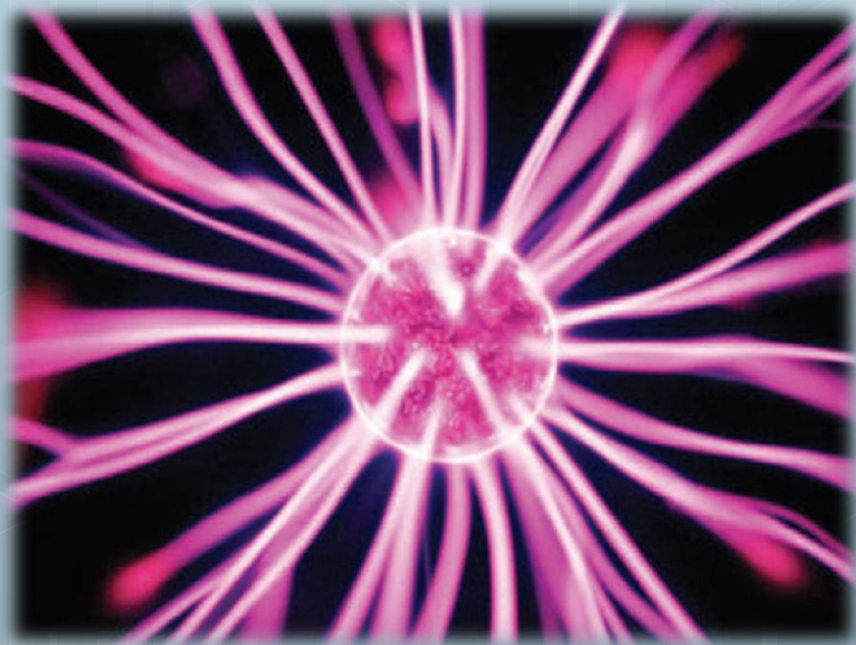


Physics





Εικόνα: Σε μια επιτραπέζια μπάλα πλάσματος, οι χρωματιστές γραμμές που βγαίνουν από τη σφαίρα αποδεικνύουν την ύπαρξη ισχυρού ηλεκτρικού πεδίου.

3^η Ενότητα Ηλεκτρισμός



Εικόνα: Μητέρα και κόρη απολαμβάνουν την επίδραση της ηλεκτρικής φόρτισης των σωμάτων τους. Κάθε μια ξεχωριστή τρίχα των μαλλιών τους φορτίζεται και προκύπτει μια απωθητική δύναμη μεταξύ των τριχών, με αποτέλεσμα να «σηκώνονται οι τρίχες τους». © (Courtesy of Resonance Research Corporation)

Φυσική για Μηχανικούς

Ηλεκτρομαγνητισμός
Ηλεκτρική Δύναμη



Εικόνα: Μητέρα και κόρη απολαμβάνουν την επίδραση της ηλεκτρικής φόρτισης των σωμάτων τους. Κάθε μια ξεχωριστή τρίχα των μαλλιών τους φορτίζεται και προκύπτει μια απωθητική δύναμη μεταξύ των τριχών, με αποτέλεσμα να «σηκώνονται οι τρίχες τους». © (Courtesy of Resonance Research Corporation)

Φυσική για Μηχανικούς

Ηλεκτρομαγνητισμός
Ηλεκτρική Δύναμη

Ηλεκτρομαγνητισμός

- Μελέτη των φαινομένων που σχετίζονται με τον **ηλεκτρισμό** και το **μαγνητισμό**
- Νόμοι του Ηλεκτρομαγνητισμού
 - Πανταχού παρόντες: smartphones, τηλεοράσεις, ηλεκτροκινητήρες, Η/Υ, επιταχυντές σωματιδίων, κ.α.
- Ηλεκτρικός → ήλεκτρο (αρχ. Ελλ.) = κεχριμπάρι (απολιθωμένη ρητίνη, παράγωγο των κωνοφόρων δένδρων)
- Μαγνητικός → Μαγνησία Μ. Ασίας (σημερινή Μανίσα, κοντά στη Σμύρνη) → περιοχή που βρέθηκε για πρώτη φορά ο μαγνητίτης
- Στόχος μας: να αναπτύξουμε μοντέλα κατανόησης των ηλεκτρικών φαινομένων μέσω **φορτίων και δυνάμεων**



Εικόνα: Μητέρα και κόρη απολαμβάνουν την επίδραση της ηλεκτρικής φόρτισης των σωμάτων τους. Κάθε μια ξεχωριστή τρίχα των μαλλιών τους φορτίζεται και προκύπτει μια απωθητική δύναμη μεταξύ των τριχών, με αποτέλεσμα να «σηκώνονται οι τρίχες τους». © (Courtesy of Resonance Research Corporation)

Φυσική για Μηχανικούς

Ηλεκτρομαγνητισμός

Ηλεκτρική Δύναμη



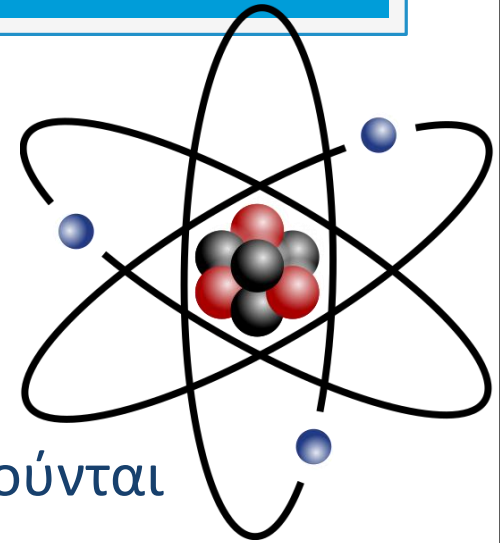
Εικόνα: Μητέρα και κόρη απολαμβάνουν την επίδραση της ηλεκτρικής φόρτισης των σωμάτων τους. Κάθε μια ξεχωριστή τρίχα των μαλλιών τους φορτίζεται και προκύπτει μια απωθητική δύναμη μεταξύ των τριχών, με αποτέλεσμα να «σηκώνονται οι τρίχες τους». © (Courtesy of Resonance Research Corporation)

Φυσική για Μηχανικούς

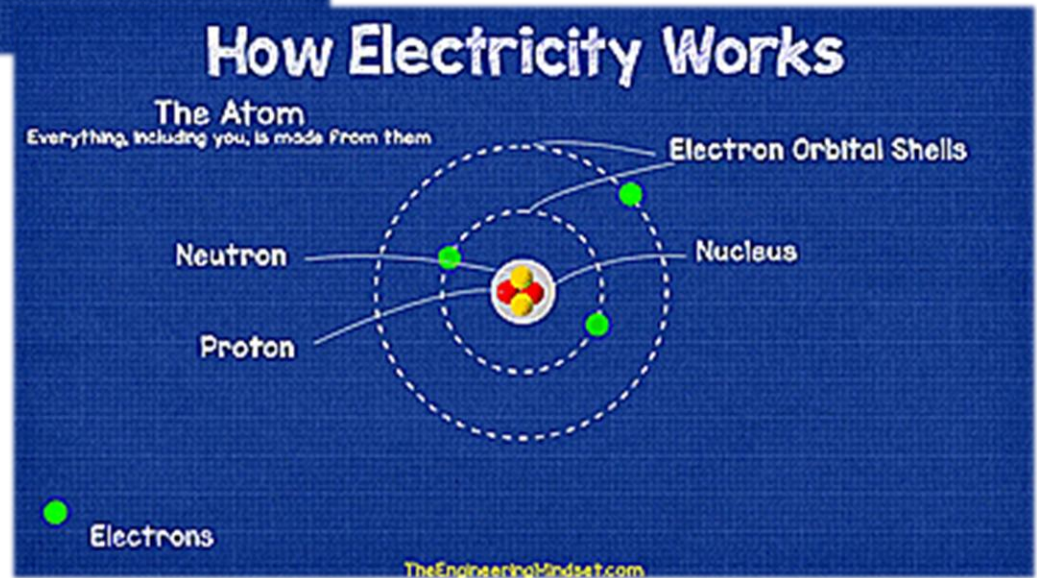
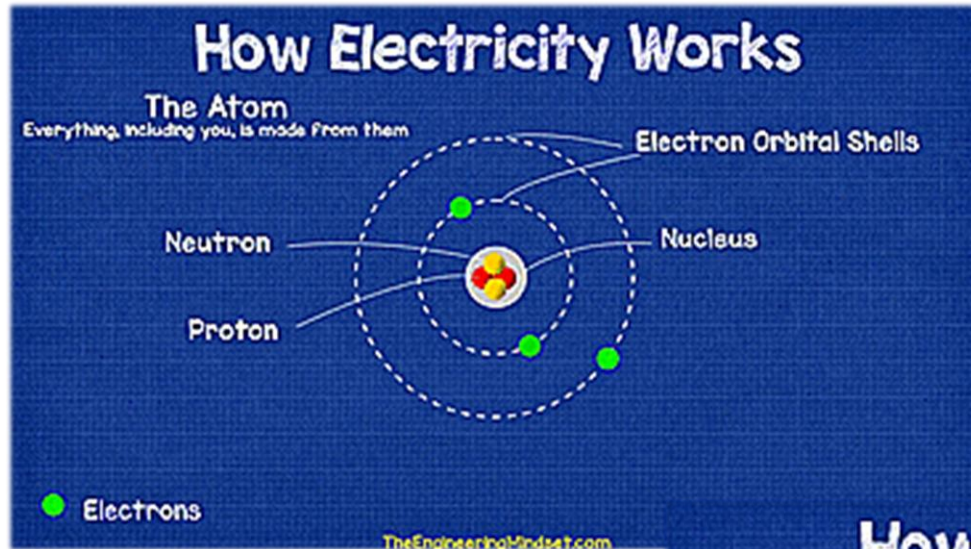
Ηλεκτρομαγνητισμός
Ηλεκτρική Δύναμη

Ηλεκτρική Δύναμη

- Η ύλη γύρω μας αποτελείται από **άτομα**
- Κάθε άτομο έχει έναν πολύ μικρό, **θετικά** φορτισμένο πυρήνα (περιέχει **πρωτόνια** και ουδέτερα **νετρόνια**) και γύρω του κινούνται **ηλεκτρόνια** που έχουν **αρνητικό** φορτίο
- Στα ουδέτερα άτομα, ο αριθμός πρωτονίων = αριθμός ηλεκτρονίων, οπότε τα συνολικά φορτία «ισορροπούν»...
 - ...και το σώμα ονομάζεται **ηλεκτρικά ουδέτερο**
- Σε ορισμένα υλικά, όπως τα μέταλλα, μερικά ηλεκτρόνια δεν είναι «δεμένα» σε ένα συγκεκριμένο άτομο, αλλά κινούνται σχετικά ελεύθερα μέσα στο υλικό
 - Ονομάζονται **ελεύθερα ηλεκτρόνια** και είναι υπεύθυνα για το έλλειμα ή πλεόνασμα φορτίου στα μέταλλα



Ηλεκτρική Δύναμη



Ηλεκτρική Δύναμη

- Όλοι έχετε “δει” ηλεκτρικές δυνάμεις γύρω σας
 - **Τρίψτε** ένα μπαλόνι στα μαλλιά σας και θα δείτε ότι έλκει κομματάκια χαρτιού
- Μια τέτοια συμπεριφορά της ύλης αναφέρεται ως **ηλεκτρική φόρτιση**
 - Κατά την τριβή, επιφανειακά ηλεκτρόνια μεταφέρονται από τα μαλλιά στο μπαλόνι
 - Το μπαλόνι αποκτά έτσι **αρνητικό** φορτίο (πλεόνασμα ηλεκτρονίων), ενώ τα μαλλιά μένουν φορτισμένα **θετικά**
 - Όταν πλησιάσουμε το φορτισμένο μπαλόνι στα κομμάτια χαρτί (που ήταν αρχικά ουδέτερα), μετακινούνται ελάχιστα τα φορτία μέσα στο χαρτί, έτσι ώστε η πλευρά του χαρτιού που είναι προς το μπαλόνι να έλκεται από αυτό
 - Όσο περισσότερο τρίβουμε το μπαλόνι στα μαλλιά μας, τόσο μεγαλύτερη ποσότητα φορτισμένων σωματιδίων μεταφέρεται

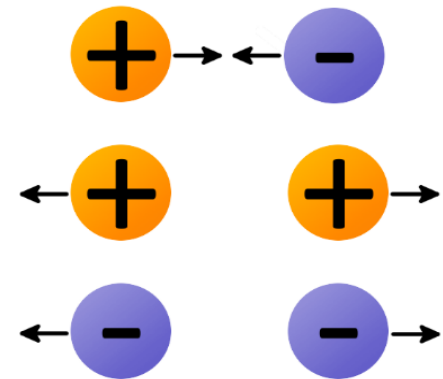


Ηλεκτρική Δύναμη

- Η ηλεκτρική φόρτιση ενός σώματος δεν είναι τίποτε άλλο από **πλεόνασμα ή έλλειμμα ηλεκτρονίων**:
 - αν ένα σώμα **χάσει** ηλεκτρόνια → μένει με περισσότερα πρωτόνια → φορτίζεται **θετικά**
 - αν **κερδίσει** ηλεκτρόνια → έχει περισσότερα αρνητικά φορτία → φορτίζεται **αρνητικά**
- Η **μεταφορά φορτίων** γίνεται κυρίως με δύο τρόπους:
 - **Μεταφορά ηλεκτρονίων**: π.χ. με τριβή δύο υλικών (το ένα δίνει, το άλλο παίρνει ηλεκτρόνια) ή με επαφή ενός φορτισμένου σώματος με ένα ουδέτερο (τα ηλεκτρόνια «τρέχουν» από το ένα στο άλλο)
 - **Κίνηση ιόντων** (φορτισμένων ατόμων ή μορίων) σε υγρά, όπου ολόκληρα φορτισμένα σωματίδια κινούνται και μεταφέρουν φορτίο

Ηλεκτρική Δύναμη

- Πειράματα έδειξαν ότι υπάρχουν **δυο** είδη ηλεκτρικού φορτίου
- Όπως είπαμε ήδη, ονομάστηκαν (αυθαίρετα) **θετικό** και **αρνητικό** φορτίο
 - Τα **ηλεκτρόνια** (ή και άλλα σωματίδια) έχουν **αρνητικό φορτίο**
 - Τα **πρωτόνια** (ή και άλλα σωματίδια) έχουν **θετικό φορτίο**
- Φορτία ίδιου προσήμου απωθούνται
- Φορτία αντίθετου προσήμου έλκονται



Ηλεκτρική Δύναμη

- ◉ **Αρχή Διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου**

- ◉ ...σε απομονωμένο σύστημα
- ◉ Φόρτιση = μεταφορά ηλεκτρονίων...
 - ◉ ...όχι δημιουργία/καταστροφή φορτίου!

- ◉ **Μεταφορά φορτίου από ένα σώμα σε ένα άλλο**

- ◉ Το ένα φορτίζεται **θετικά (πλεόνασμα θετικού φορτίου)**, το άλλο **αρνητικά (πλεόνασμα αρνητικού φορτίου)**
- ◉ Ξέρουμε πλέον ότι – στα μέταλλα – τα **ελεύθερα ηλεκτρόνια** μεταφέρουν φορτίο, τα οποία μεταφέρονται από ένα μέταλλο σε ένα άλλο (ή μετακινούνται μέσα στο ίδιο το υλικό), δημιουργώντας θετική ή αρνητική φόρτιση

Ηλεκτρική Δύναμη

- Αρχή Διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου

- Το 1909, ο R. Milikan ανακάλυψε ότι το ηλεκτρικό φορτίο q απαντάται **στη φύση** σε **ακέραια** πολλαπλάσια ενός στοιχειώδους ηλεκτρικού φορτίου e :

$$q = Ne, \quad N \in \mathbb{Z}$$

- Λέμε ότι το ηλεκτρικό φορτίο είναι **κβαντισμένο**
- **Ηλεκτρόνιο**: φορτίο $-e$, **Πρωτόνιο**: φορτίο $+e$

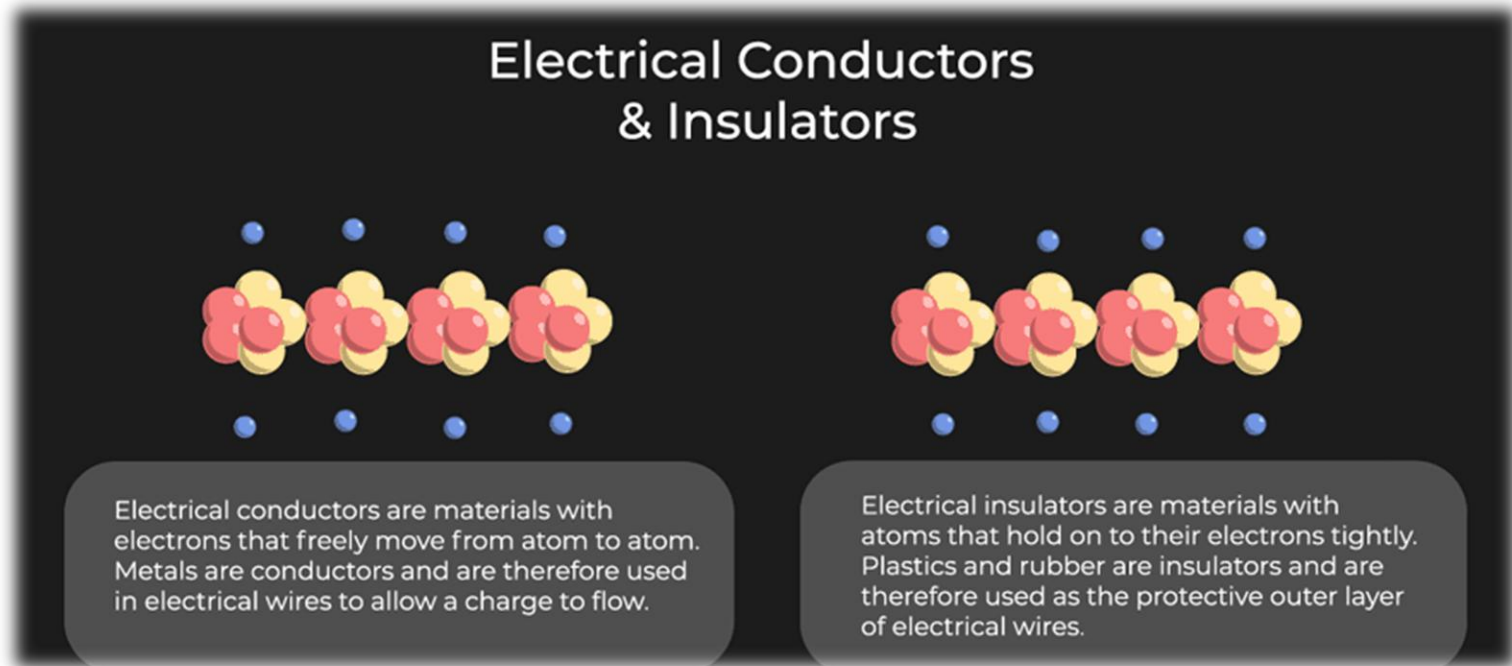
Ηλεκτρική Δύναμη

◉ Κατηγοριοποίηση υλικών

- ◉ **Αγωγοί:** υλικά (χαλκός, αλουμίνιο, άργυρος, κλπ) όπου κάποια ηλεκτρόνια είναι ελεύθερα και δεν είναι δεσμευμένα σε άτομα, και μπορούν να κινηθούν σχετικά ελεύθερα στο υλικό
 - ◉ Όταν φορτιστούν, το φορτίο κατανέμεται άμεσα σε όλη την επιφάνεια του υλικού
- ◉ **Μονωτές:** υλικά (γυαλί, ξύλο, κλπ) που όλα τα ηλεκτρόνια τους είναι δεσμευμένα σε άτομα και δεν μπορούν να κινηθούν ελεύθερα
 - ◉ Όταν φορτιστούν, το φορτίο κατανέμεται σε μια συγκεκριμένη περιοχή
- ◉ **Ημιαγωγοί:** με προσθήκη συγκεκριμένης ποσότητας ατόμων στο υλικό (πυρίτιο, γερμάνιο), εναλλάσσονται από αγωγοί σε μονωτές

Ηλεκτρική Δύναμη

Κατηγοριοποίηση υλικών



- Φορτισμένα σωματίδια ασκούν δυνάμεις έλξης/άπωσης μεταξύ τους
- **Ερώτημα:** πόση είναι αυτή η δύναμη?
- **Απάντηση:** Νόμος του Coulomb!

Ηλεκτρική Δύναμη

- Ο νόμος του Coulomb

- Ο Charles Coulomb ανακάλυψε πειραματικά το **μέτρο** των ηλεκτρικών δυνάμεων ανάμεσα σε **ακίνητα φορτισμένα σωματίδια**
- Από τα πειράματά του προέκυψε ότι: η ηλεκτρική δύναμη ανάμεσα σε **δυο ακίνητα φορτισμένα σωματίδια** q_1, q_2 (μηδενικού μεγέθους – σημειακά) που απέχουν απόσταση r μεταξύ τους δίνεται από τη σχέση

$$F_e = k_e \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

όπου k_e ονομάζεται σταθερά του Coulomb

- Πειράματα έδειξαν ότι η ηλεκτρική δύναμη είναι **συντηρητική**

Ηλεκτρική Δύναμη

- Ο νόμος του Coulomb

- Σταθερά k_e

- $k_e = 9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$ (περίπου)

- Επίσης, γράφεται ως

$$k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

όπου ϵ_0 η **διηλεκτρική σταθερά του κενού**

- Μονάδα μέτρησης ηλεκτρ. δύναμης στο S.I. : Newton (N)

- Το μικρότερο ελεύθερο φορτίο που έχει βρεθεί στη φύση είναι

$$e = 1.602 \times 10^{-19} C$$

- $C = \text{Coulomb}$: μονάδα μέτρησης φορτίου

- Μη θεμελιώδης μονάδα μέτρησης

- Εξαρτάται από άλλες μονάδες που θα δούμε στη συνέχεια

Ηλεκτρική Δύναμη

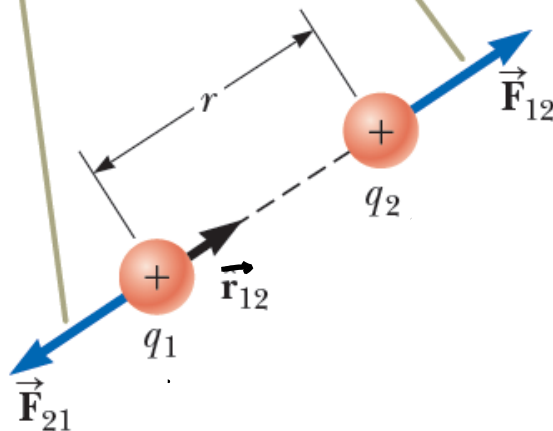
Ο νόμος του Coulomb – Διανυσματική μορφή

$$\vec{F}_{12} = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{r}_{12}$$

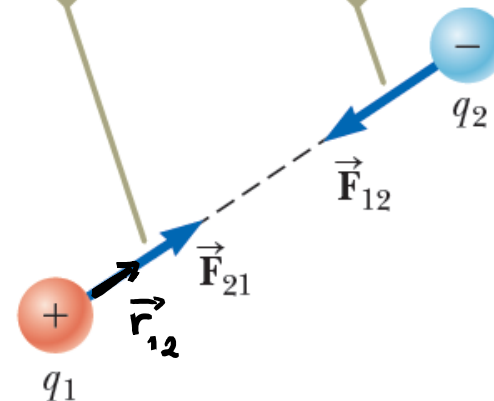
με $\vec{r}_{12}$ το μοναδιαίο διάνυσμα από το φορτίο 1 στο φορτίο 2

Σπάνια θα χρησιμοποιούμε αυτή τη γραφή (έχουμε καλύτερες) και μόνο για να εξάγουμε θεωρητικά αποτελέσματα

Όταν τα φορτία έχουν το ίδιο πρόσημο, η δύναμη είναι απωθητική.



Όταν τα φορτία έχουν αντίθετο πρόσημο, η δύναμη είναι ελκτική.



Ηλεκτρική Δύναμη

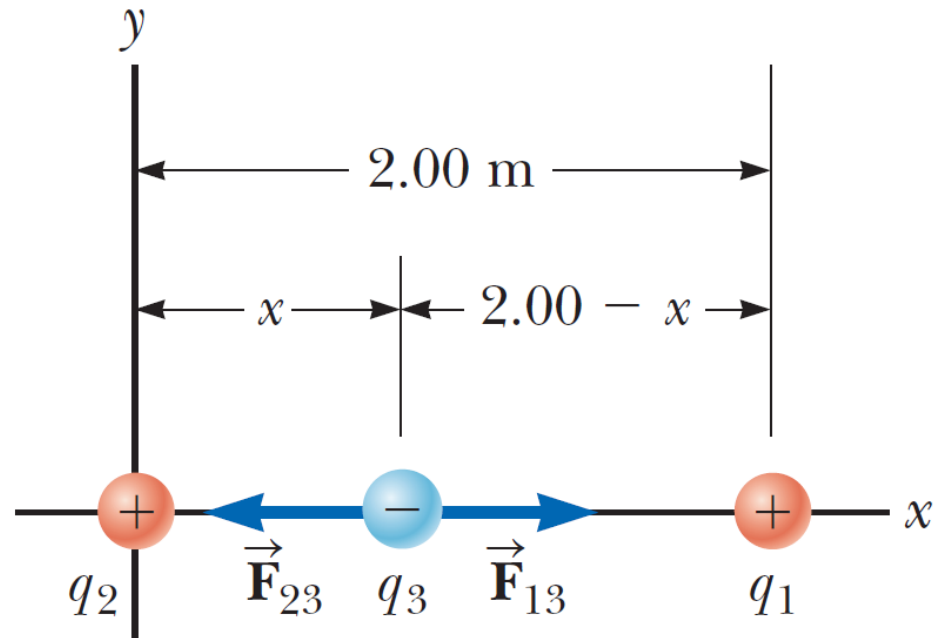
- Παράδειγμα:

- Τρία φορτισμένα σωματίδια βρίσκονται επάνω στον x -άξονα όπως στο σχήμα. Το $q_1 = 15 \mu C$ βρίσκεται «δεμένο» στη θέση $x = 2 \text{ m}$, το $q_2 = 6 \mu C$ βρίσκεται «δεμένο» στην αρχή των αξόνων, και η συνισταμένη των δυνάμεων στο q_3 είναι μηδέν.

Βρείτε τη θέση του q_3 .

$$\Sigma \vec{F}_x = 0 \Leftrightarrow 1 \cong \text{N. Newton}$$

Ισορροπία!



Ηλεκτρική Δύναμη

Παράδειγμα – Λύση:

Έχουμε

$$\sum \vec{F}_x = \vec{0} \Leftrightarrow \vec{F}_{23} + \vec{F}_{13} = \vec{0}$$

ή

$$-F_{23} + F_{13} = 0 \Leftrightarrow F_{13} = F_{23}$$

οπότε

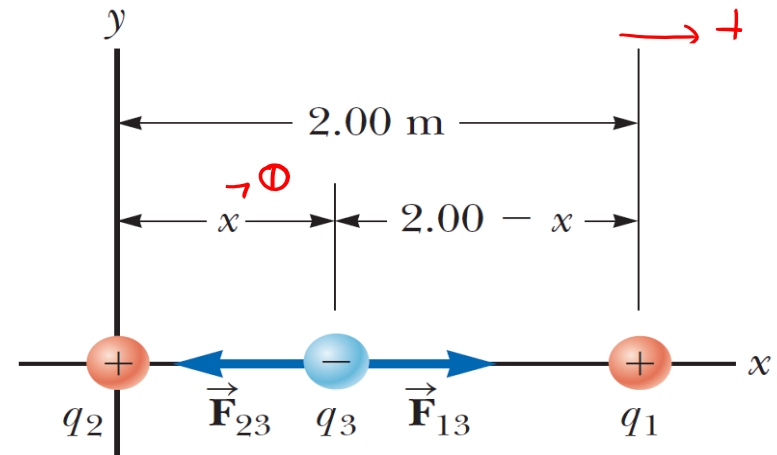
$$F_{13} = k_e \frac{|q_1| \cdot |q_3|}{(2-x)^2}$$

$$F_{23} = k_e \frac{|q_2| \cdot |q_3|}{x^2}$$

$$\Rightarrow \frac{15 \cdot 10^{-6}}{(2-x)^2} = \frac{6 \cdot 10^{-6}}{x^2} \Rightarrow 3x^2 + 8x - 8 = 0$$

$$x_1 = 0.775 \text{ m} \quad \checkmark$$

$$x_2 = -3.44 \text{ m} \quad \times$$



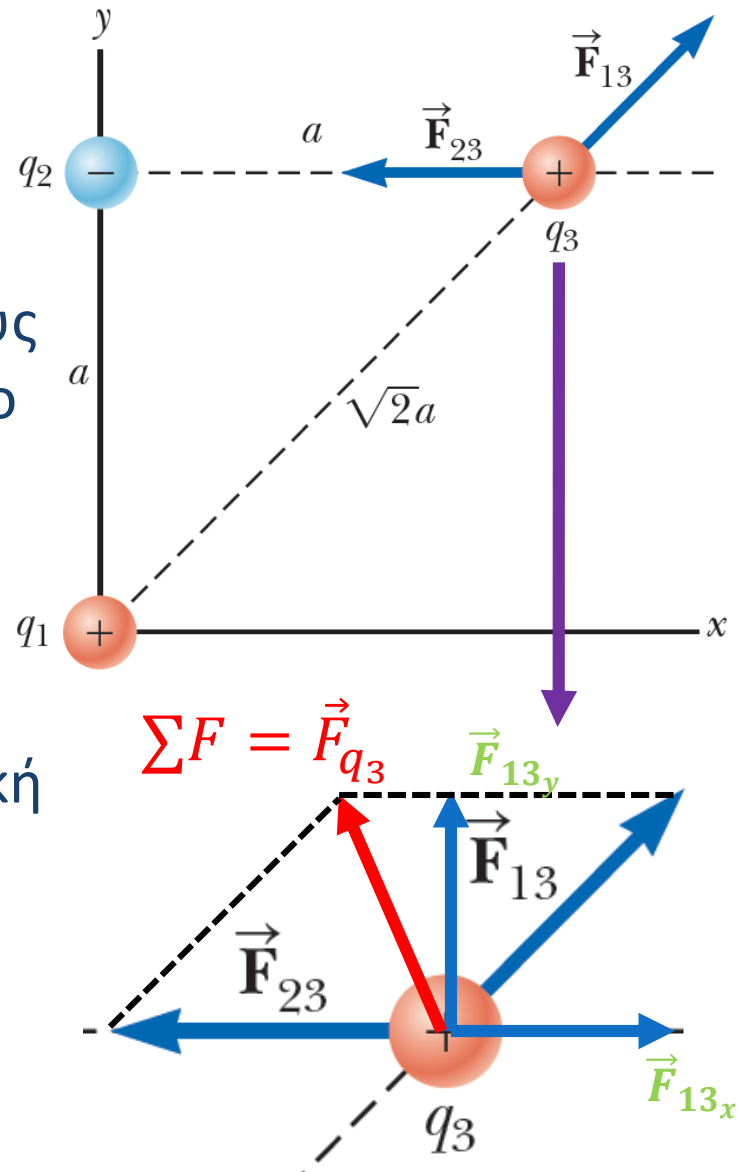
Ηλεκτρική Δύναμη

- Παράδειγμα:

- Τρία σημειακά φορτία βρίσκονται στις γωνίες ενός ισοσκελούς ορθογωνίου τριγώνου όπως στο σχήμα.

Δίνεται ότι $q_1 = q_3 = 5 \mu\text{C}$,
 $q_2 = -2 \mu\text{C}$ και $a = 0.1 \text{ m}$.

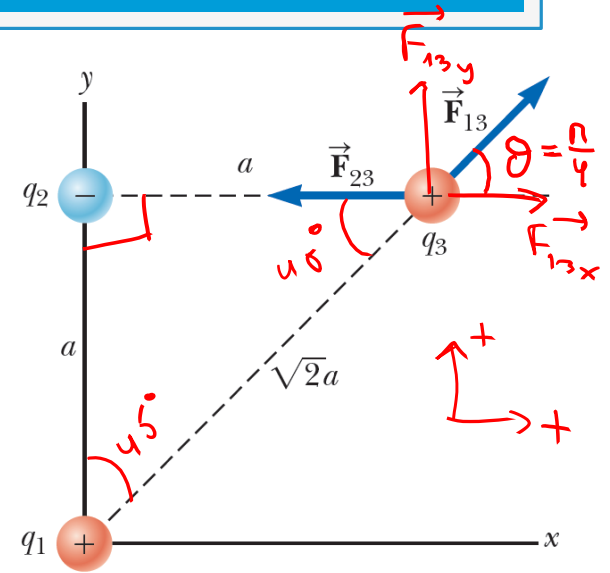
Βρείτε τη συνισταμένη ηλεκτρική δύναμη που ασκείται στο q_3 .



Ηλεκτρική Δύναμη

• Παράδειγμα – Λύση:

- Δίδεται ότι $q_1 = q_3 = 5 \mu\text{C}$, $q_2 = -2 \mu\text{C}$ και $a = 0.1 \text{ m}$. Βρείτε τη συνισταμένη ηλεκτρική δύναμη στο q_3 .



Είναι $\vec{F}_{q_3} = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23}$

Αναλύουμε σε συνιστώσες:

- x-συνιστώσα: $\vec{F}_{q_3x} = \vec{F}_{23} + \vec{F}_{13x} \Rightarrow F_{q_3x} = F_{13x} - F_{23}$
- y-συνιστώσα: $\vec{F}_{q_3y} = \vec{F}_{13y} \Rightarrow F_{q_3y} = F_{13y}$

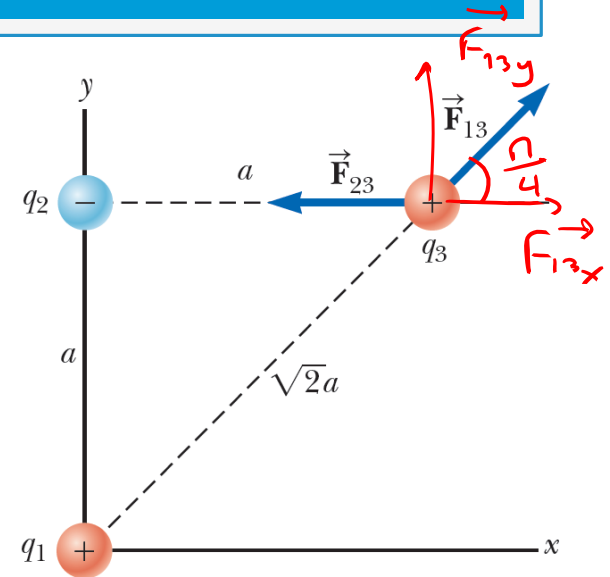
$$\sim F_{23} = k_e \frac{|q_2| |q_3|}{a^2} = k_e \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{-6}}{(0.1)^2} = \dots \approx 9.0 \text{ N}$$

Από Γεωμετρία, $\theta = \frac{\pi}{4}$

Ηλεκτρική Δύναμη

• Παράδειγμα – Λύση:

- Δίδεται ότι $q_1 = q_3 = 5 \mu\text{C}$, $q_2 = -2 \mu\text{C}$ και $a = 0.1 \text{ m}$. Βρείτε τη συνισταμένη ηλεκτρική δύναμη στο q_3 .



$$F_{13} = k_e \frac{|q_1||q_3|}{(\sqrt{2}a)^2} = k_e \frac{5 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot (0.1)^2} = \dots \approx 11.2 \text{ N}$$

$$\text{Λρα } F_{13x} = F_{13} \cdot \cos \theta = \frac{\sqrt{2}}{2} F_{13} \approx 7.9 \text{ N}$$

$$F_{13y} = F_{13} \cdot \sin \theta = \frac{\sqrt{2}}{2} F_{13} \approx 7.9 \text{ N}$$

Οποτε

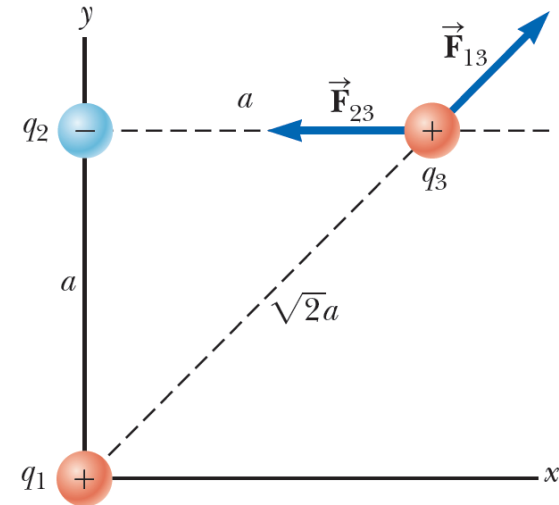
$$F_{q3x} = F_{13x} - F_{23} = -1.1 \text{ N}$$

$$F_{q3y} = F_{13y} = 7.9 \text{ N}$$

Ηλεκτρική Δύναμη

- Παράδειγμα – Λύση:

- Δίδεται ότι $q_1 = q_3 = 5 \mu\text{C}$, $q_2 = -2 \mu\text{C}$ και $a = 0.1 \text{ m}$. Βρείτε τη συνισταμένη ηλεκτρική δύναμη στο q_3 .



Αρ ∝

$$\vec{F}_{q_3} = (-1.1 \text{ N}) \vec{i} + (7.9 \text{ N}) \vec{j}$$



Εικόνα: Μητέρα και κόρη απολαμβάνουν την επίδραση της ηλεκτρικής φόρτισης των σωμάτων τους. Κάθε μια ξεχωριστή τρίχα των μαλλιών τους φορτίζεται και προκύπτει μια απωθητική δύναμη μεταξύ των τριχών, με αποτέλεσμα να «σηκώνονται οι τρίχες τους». © (Courtesy of Resonance Research Corporation)

Φυσική για Μηχανικούς

Ηλεκτρικά Πεδία



Εικόνα: Μητέρα και κόρη απολαμβάνουν την επίδραση της ηλεκτρικής φόρτισης των σωμάτων τους. Κάθε μια ξεχωριστή τρίχα των μαλλιών τους φορτίζεται και προκύπτει μια απωθητική δύναμη μεταξύ των τριχών, με αποτέλεσμα να «σηκώνονται οι τρίχες τους». © (Courtesy of Resonance Research Corporation)

Φυσική για Μηχανικούς

Ηλεκτρικά Πεδία

Ηλεκτρικά Πεδία

• Ηλεκτρικό πεδίο

- Πώς «γνωρίζει» ένα φορτισμένο σωματίδιο την παρουσία ενός άλλου φορτισμένου σωματιδίου ώστε να αναπτυχθεί δύναμη Coulomb μεταξύ τους;
 - Για να απαντήσουμε σε αυτό χρειαζόμαστε την έννοια του **πεδίου**
- Η έννοια του πεδίου αναπτύχθηκε από τον M. Faraday (1845)
- **Ηλεκτρικό πεδίο** υπάρχει σε μια περιοχή του χώρου γύρω από ένα φορτισμένο σωματίδιο...
 - ...που λέγεται **πηγή φορτίου**
- Το αντιλαμβανόμαστε όταν ένα άλλο (αρκετά μικρότερου φορτίου) φορτισμένο σωματίδιο εισέρχεται στο ηλεκτρικό πεδίο και τότε μια ηλεκτρική δύναμη ασκείται πάνω του

Ηλεκτρικά Πεδία

• Ηλεκτρικό πεδίο

- Ορίζουμε το διάνυσμα του ηλεκτρικού πεδίου $\vec{E}$ σε ένα σημείο του χώρου ως η ηλεκτρική δύναμη που ασκείται σε ένα μικρό φορτίο q_0 που βρίσκεται στο σημείο αυτό, δια το φορτίο αυτό

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q_0}$$

- Άρα το διάνυσμα του ηλεκτρικού πεδίου έχει την **ίδια κατεύθυνση με τη δύναμη** που θα ασκούσαν σε ένα μικρό **θετικό** φορτίο q_0
- Ένα ηλεκτρικό πεδίο υπάρχει σε ένα σημείο του χώρου αν ένα φορτισμένο σωματίδιο (με μικρό φορτίο q_0) υφίσταται μια ηλεκτρική δύναμη

$$\vec{F}_e = q_0 \vec{E}$$

Το q_0 αποκαλείται συχνά και «δοκιμαστικό φορτίο»

Ηλεκτρικά Πεδία

$$\vec{F}_e = q_0 \vec{E}$$

• Ηλεκτρικό πεδίο

- Αν το $q_0 > 0$, η ηλεκτρ. δύναμη έχει την ίδια κατεύθυνση με το διάνυσμα του ηλεκτρ. πεδίου στο σημείο του φορτίου q_0
- Αν το $q_0 < 0$, το διάνυσμα του ηλεκτρ. πεδίου στο σημείο του φορτίου q_0 και η ηλεκτρική δύναμη έχουν αντίθετες κατευθύνσεις
- Το ηλεκτρικό πεδίο $\vec{E}$ σε ένα σημείο P λόγω της παρουσίας **πηγής φορτίου** q σε απόσταση r από το σημείο P δίνεται ως
$$\vec{E} q_0 = \vec{F}_e \Rightarrow \vec{E} \cancel{q_0} = k_e \frac{\cancel{q} q_0}{r^2} \vec{r} \Rightarrow \vec{E} = k_e \frac{q}{r^2} \vec{r}$$
με $\vec{r}$ το γνωστό μοναδιαίο διάνυσμα που είδαμε νωρίτερα
- Το **μέτρο** του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο P δίνεται ως

$$|\vec{E}| = E = k_e \frac{|q|}{r^2}$$

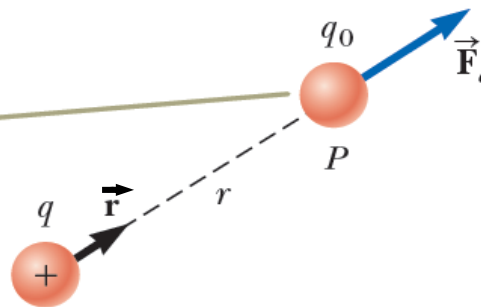
Ηλεκτρικό πεδίο αποκλειστικά εξαρτώμενο από την πηγή φορτίου q !

Ηλεκτρικά Πεδία

• Ηλεκτρικό πεδίο

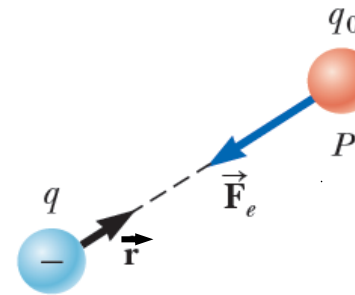
$$\vec{F}_e = q_0 \vec{E}$$

Αν το q είναι θετικό, η δύναμη επάνω στο q_0 έχει κατεύθυνση μακριά από το q .



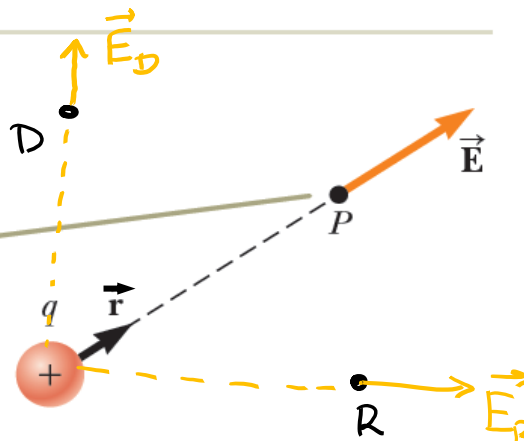
a

Αν το q είναι αρνητικό, το σωματίδιο q_0 κατευθύνεται προς το q .



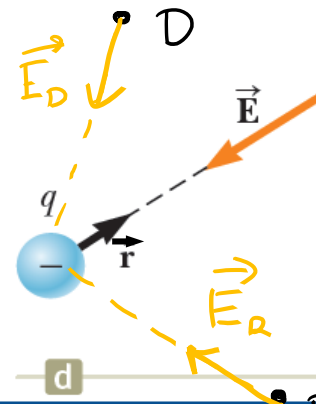
c

Αν το q είναι θετικό, το ηλεκτρικό πεδίο στο σημείο P δείχνει ακτινικά προς τα έξω από το q .



b

Αν το q είναι αρνητικό, το ηλεκτρικό πεδίο στο σημείο P δείχνει ακτινικά προς το q .



d

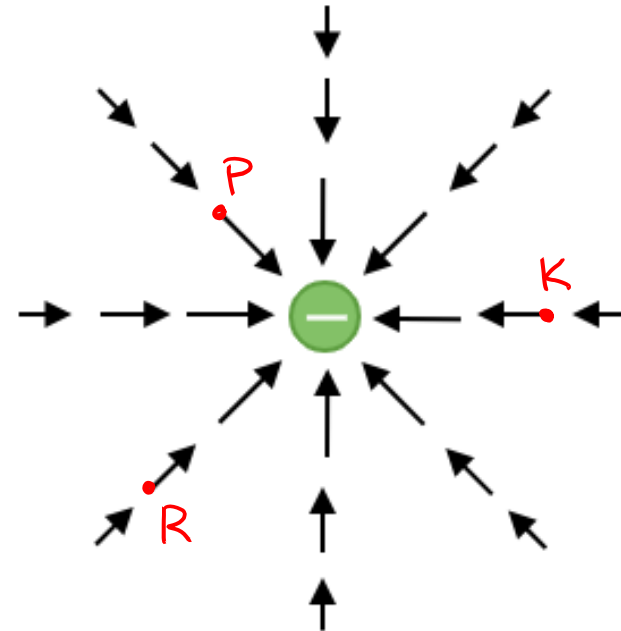
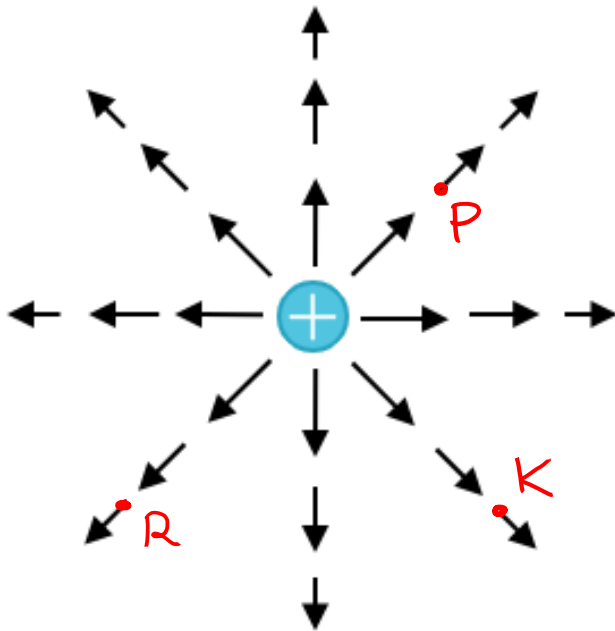
Θετική πηγή φορτίου → φορά πεδίου ακτινικά «προς τα έξω»

Αρνητική πηγή φορτίου → φορά πεδίου ακτινικά «προς τα μέσα»

Ηλεκτρικά Πεδία

• Ηλεκτρικό πεδίο

- Για τρία τυχαία σημεία γύρω από την πηγή φορτίου, το διάνυσμα του ηλεκτρικού πεδίου φαίνεται παρακάτω



Ηλεκτρικά Πεδία

• Ηλεκτρικό πεδίο

- Τι συμβαίνει αν έχουμε πολλές πηγές φορτίου q_i ;
- Πως υπολογίζουμε το ηλεκτρικό πεδίο στο σημείο P?
- Ηλεκτρικό πεδίο: διανυσματικό μέγεθος

$$\vec{E}_P = \vec{E}_{q_1} + \vec{E}_{q_2} + \vec{E}_{q_3} + \dots = \sum_i \vec{E}_{q_i} = k_e \sum_i \frac{q_i}{r_i^2} \vec{r}_i$$

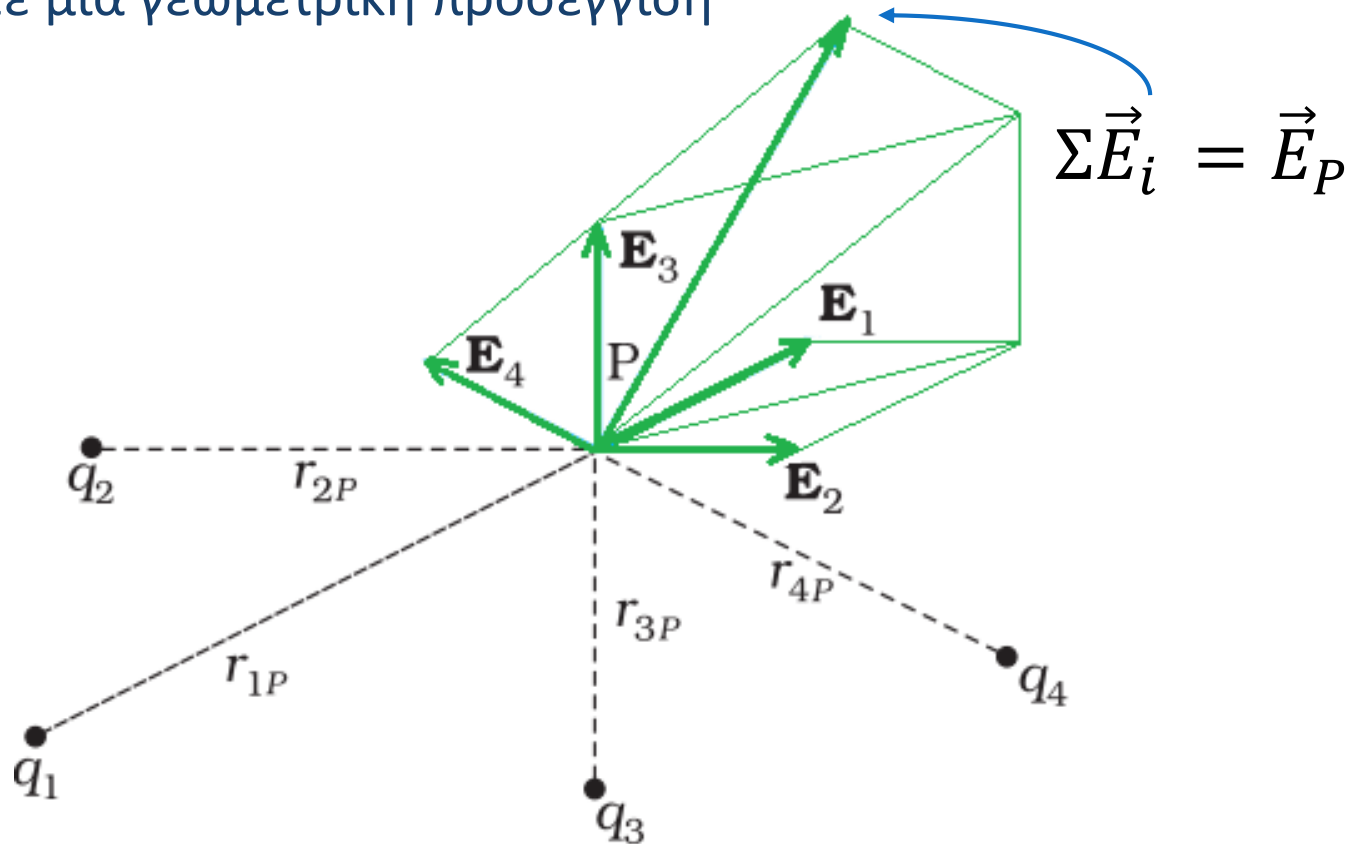
όπου r_i η απόσταση της i –οστής πηγής φορτίου q_i από ένα σημείο P και $\vec{r}_i$ το μοναδιαίο διάνυσμα από τη i –οστή πηγή φορτίου q_i στο σημείο P

- Προσθέτουμε διανυσματικά τις επιμέρους συνεισφορές
- Πολλές φορές, η ανάλυση σε συνιστώσες είναι πολύ βολική!

Ηλεκτρικά Πεδία

- Ηλεκτρικό πεδίο

- Τι συμβαίνει αν έχουμε πολλές πηγές φορτίου q_i ;
- Δείτε μια γεωμετρική προσέγγιση



Συνεχίζεται... 😊