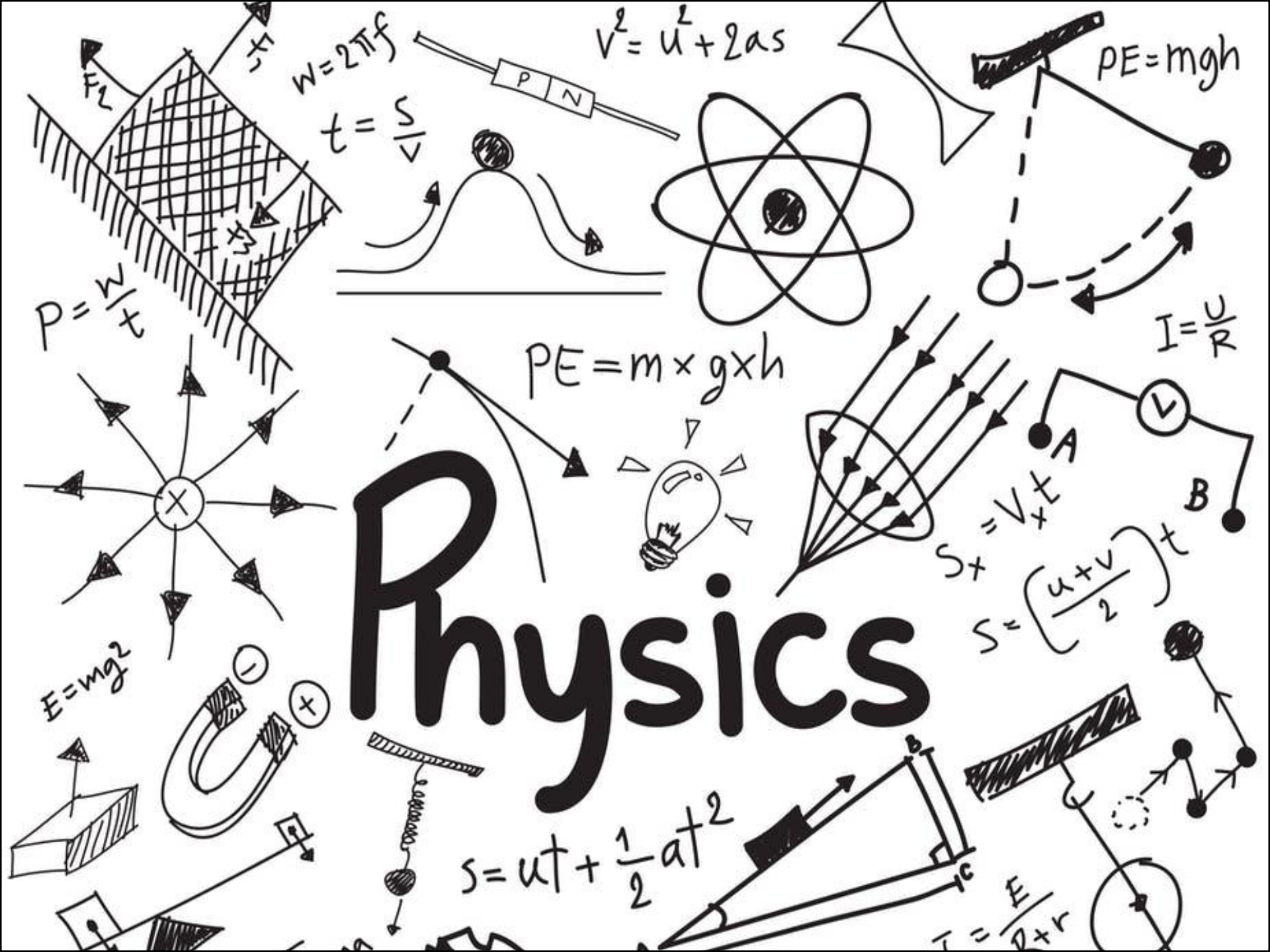


Physics



Reminder...

- Διαλέξεις

- Προαιρετική παρουσία!

- Είστε εδώ γιατί **θέλετε** να ακούσετε/συμμετέχετε

- Δεν υπάρχουν απουσίες

- Υπάρχει σεβασμός στους συναδέλφους σας και στην εκπαιδευτική διαδικασία

- Προστατέψτε εσάς και τους συναδέλφους σας: απέχετε από το μάθημα αν δεν είστε/αισθάνεστε καλά



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

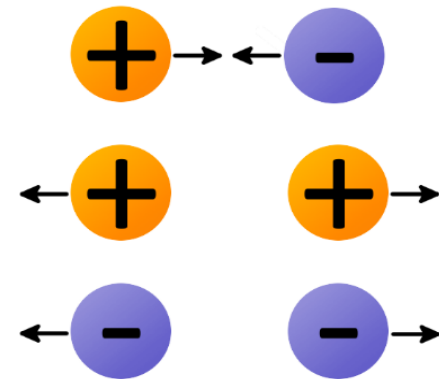


- Όλοι έχετε “δει” ηλεκτρικές δυνάμεις γύρω σας
 - **Τρίψτε** ένα μπαλόνι στα μαλλιά σας και θα δείτε ότι έλκει κομματάκια χαρτιού
- Μια τέτοια συμπεριφορά της ύλης αναφέρεται ως **ηλεκτρική φόρτιση**
 - Ηλεκτρικά φορτισμένα σωματίδια κινούνται από τα μαλλιά σας στο μπαλόνι
 - Πλησιάζοντας το στα κομμάτια χαρτί, τα φορτισμένα σωματίδια έλκουν κάποια άλλα φορτισμένα σωματίδια στο χαρτί
 - Όσο περισσότερο τρίβουμε το μπαλόνι στα μαλλιά μας, τόσο μεγαλύτερη ποσότητα φορτισμένων σωματιδίων μεταφέρεται
 - Αρχικά, το μπαλόνι και τα κομματάκια χαρτιού ονομάζονται **(ηλεκτρικά) ουδέτερα**
 - ...απλά γιατί δεν έχουν πλεόνασμα ή έλλειμα φορτίων

Ηλεκτρική Δύναμη

- Πειράματα έδειξαν ότι υπάρχουν δυο είδη ηλεκτρικού φορτίου
- Ονομάστηκαν **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

- ◉ Μεταφορά (όχι δημιουργία!) φορτίου από ένα σώμα σε ένα άλλο

- ◉ Το ένα φορτίζεται **θετικά (πλεόνασμα θετικού φορτίου)**, το άλλο **αρνητικά (πλεόνασμα αρνητικού φορτίου)**

- ◉ Ποιος είναι όμως ο «φορέας» του φορτίου;

- ◉ Ξέρουμε πλέον ότι – στα μέταλλα – τα **ηλεκτρόνια** μεταφέρουν φορτίο, τα οποία μεταφέρονται από ένα μέταλλο σε ένα άλλο, 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

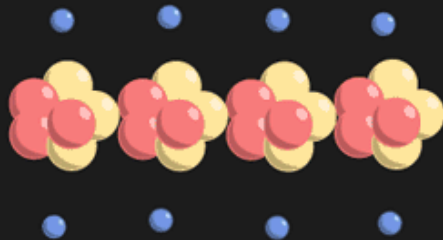
○ Κατηγοριοποίηση υλικών

- **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

Electrical Conductors & Insulators



Electrical conductors are materials with electrons that freely move from atom to atom. Metals are conductors and are therefore used in electrical wires to allow a charge to flow.



Electrical insulators are materials with atoms that hold on to their electrons tightly. Plastics and rubber are insulators and are therefore used as the protective outer layer of electrical wires.

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 = Coulomb: μονάδα μέτρησης φορτίου

- Μη θεμελιώδης μονάδα μέτρησης

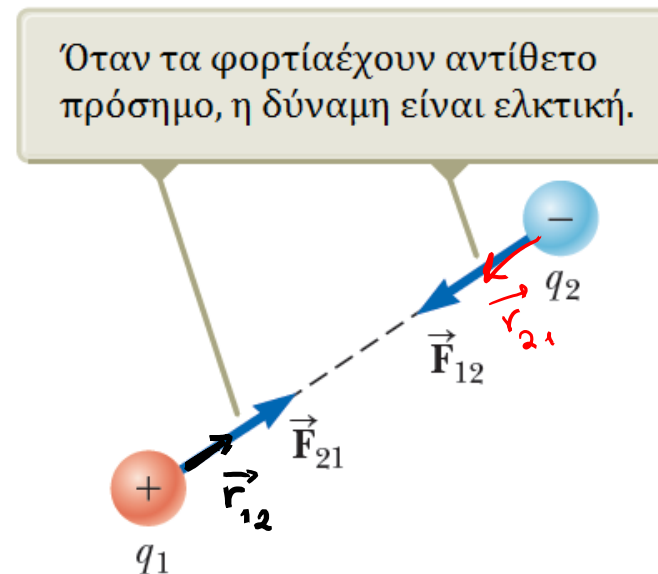
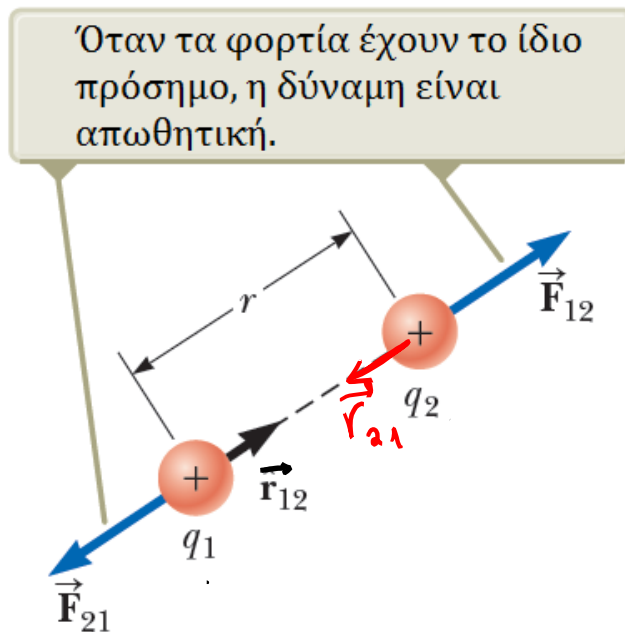
- Εξαρτάται από άλλες μονάδες που θα δούμε στη συνέχεια

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...

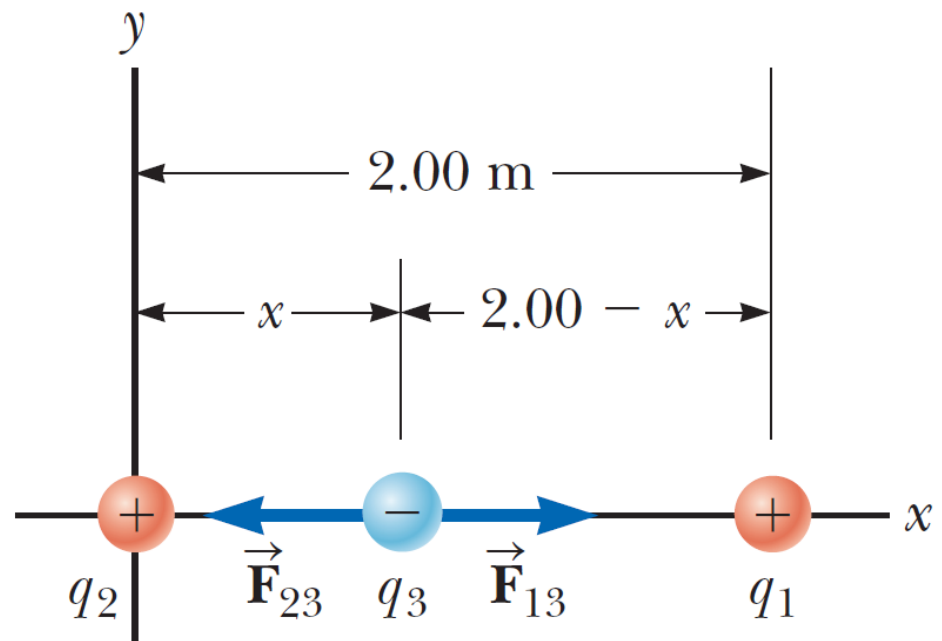


Ηλεκτρική Δύναμη

- Παράδειγμα:

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

Βρείτε τη θέση του q_3 .



Ηλεκτρική Δύναμη

Παράδειγμα – Λύση:

Έρξια το q_3 ισορροπεί, από τον
1^ο Ν Newton,

$$\sum \vec{F}_x = \vec{0}$$

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

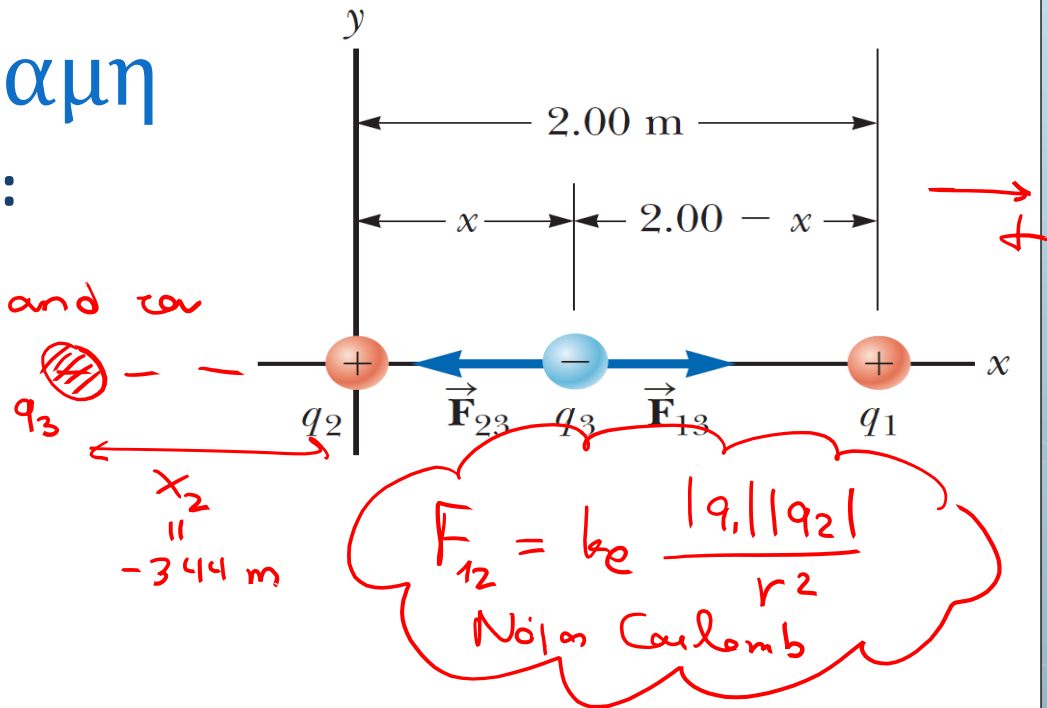
$$F_{13} - F_{23} = 0 \Leftrightarrow F_{13} = F_{23}$$

$$\cancel{k_e} \frac{|q_1 \cdot |q_3|}{(2-x)^2} = \cancel{k_e} \frac{|q_2 \cdot |q_3|}{x^2} \Leftrightarrow \frac{|q_1|}{(2-x)^2} = \frac{|q_2|}{x^2} \Leftrightarrow \frac{15 \cdot 10^{-6}}{(2-x)^2} = \frac{6 \cdot 10^{-6}}{x^2}$$

$$\frac{15}{(2-x)^2} = \frac{6}{x^2} \Leftrightarrow 15x^2 = 6(2-x)^2 \Leftrightarrow 15x^2 = 6(4 - 4x + x^2) \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow 3x^2 + 8x - 8 = 0 \begin{cases} \nearrow x_1 = 0.775 \text{ m } \checkmark \text{ δέκτι} \\ \searrow x_2 = -3.44 \text{ m } \times \text{ άπορρ.} \end{cases}$$

το q_3 ΔΕΝ
ισορροπεί
στο x_2 !



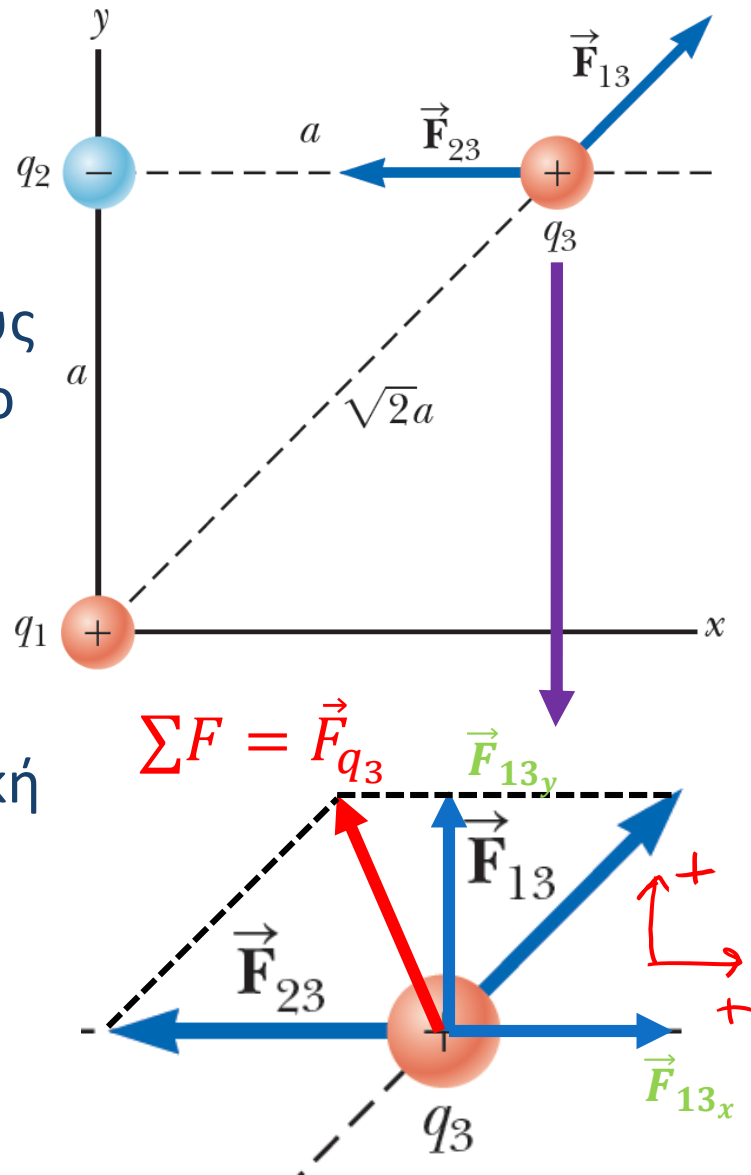
Ηλεκτρική Δύναμη

- Παράδειγμα:

- Τρια 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 $a = 0.1 \text{ m}$.

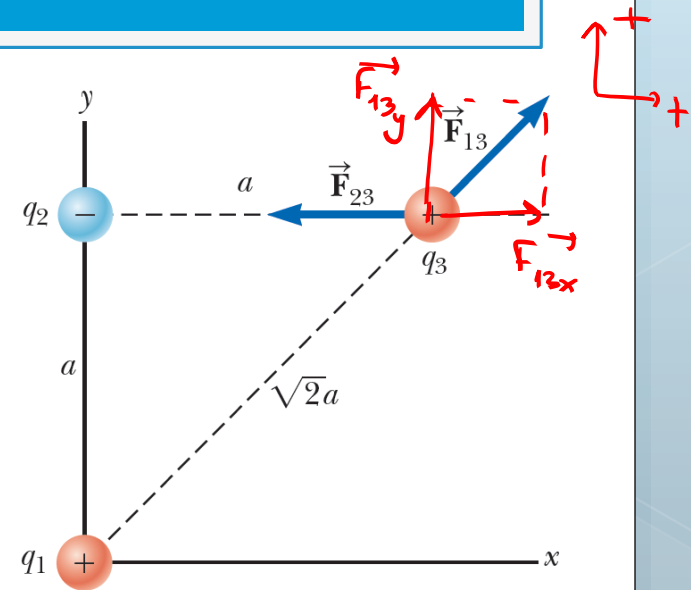
Βρείτε τη συνισταμένη ηλεκτρική δύναμη που ασκείται στο q_3 .



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 .



Ζητούμε να βρούμε τη δύναμη

$$\vec{F}_{q_3} = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23} = F_{q_{3x}} \cdot \vec{i} + F_{q_{3y}} \cdot \vec{j}$$

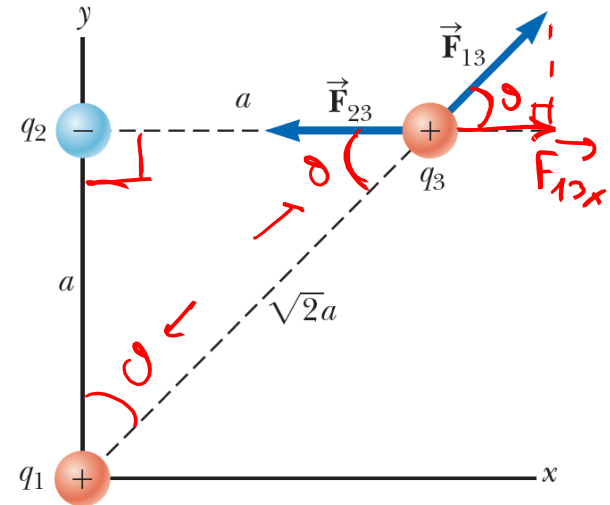
Δουλεύουμε σε άξονες:

- x-άξονας: $F_{q_{3x}} = F_{13x} + F_{23x} \Rightarrow F_{q_{3x}} = F_{13x} - F_{23x} \quad (1)$
- y-άξονας: $F_{q_{3y}} = F_{13y} \Rightarrow F_{q_{3y}} = F_{13y} \quad (2)$

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 $F_{23} = k_e \frac{|q_2||q_3|}{r^2} = k_e \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{-6}}{a^2}$

$$= k_e \frac{10 \cdot 10^{-12}}{(10^{-1})^2} = k_e \frac{10^{-11}}{10^{-2}} = k_e \cdot 10^{-9} \left. \begin{array}{l} \\ k_e = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \end{array} \right\} \Rightarrow F_{23} = 9.0 \text{ N}$$

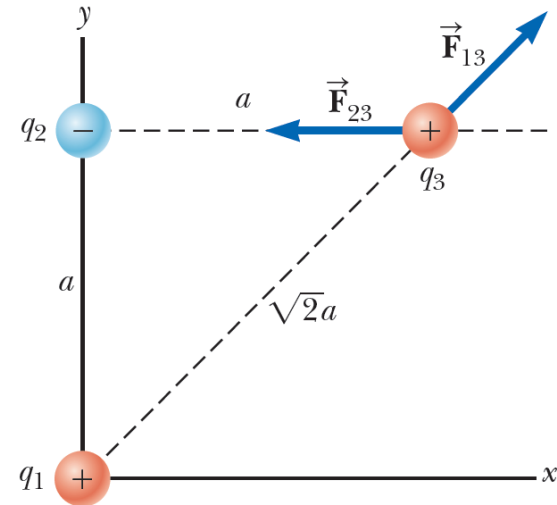
Επίσης $F_{13x} = F_{13} \cdot \cos\theta \left. \begin{array}{l} \\ \theta = \frac{\pi}{4} \end{array} \right\} \Rightarrow F_{13x} = F_{13} \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) = k_e \frac{|q_1||q_3|}{(\sqrt{2}a)^2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$

$$= k_e \frac{5 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-2}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = k_e \frac{25 \cdot 10^{-12}}{2 \cdot 10^{-2}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = k_e \frac{25\sqrt{2}}{4} \cdot 10^{-10} \approx 7.9 \text{ N}$$

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 .



$$\text{Τέλος, } F_{13y} = F_{13} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{4}\right) = F_{13} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} =$$

$$= \dots \text{ όμοια με πριν } \dots \approx 7.9 \text{ N. Άρα συνολικά } \left. \begin{array}{l} F_{23} = 9.0 \text{ N} \\ F_{13x} \approx 7.9 \text{ N} \\ F_{13y} \approx 7.9 \text{ N} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \textcircled{1} \\ \textcircled{2} \end{array}$$

$$\textcircled{1} \Rightarrow \vec{F}_{q_3} = F_{q_{3x}} \vec{i} + F_{q_{3y}} \vec{j} = (-1.1 \text{ N}) \vec{i} + (7.9 \text{ N}) \vec{j}$$

Ποδική μορφή? (Extra)

$$|\vec{F}_{q_3}| = \sqrt{(-1.1)^2 + 7.9^2} \approx 7.97 \text{ N}$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{F_{q_{3y}}}{F_{q_{3x}}} = \tan^{-1} \frac{7.9}{-1.1} \approx -82^\circ \xrightarrow{\text{διόρθωση} +\pi} \varphi = 98^\circ \left. \right\} \Rightarrow (7.97, 98^\circ)$$

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
- **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 , 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 είναι θετικό, η δύναμη έχει την ίδια κατεύθυνση με το διάνυσμα του ηλεκτρ. πεδίου στο σημείο του φορτίου q_0
- Αν το q_0 είναι αρνητικό, 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

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

με \vec{r} το γνωστό μοναδιαίο διάνυσμα που είδαμε νωρίτερα

- Το **μέτρο** του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο P δίνεται ως

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

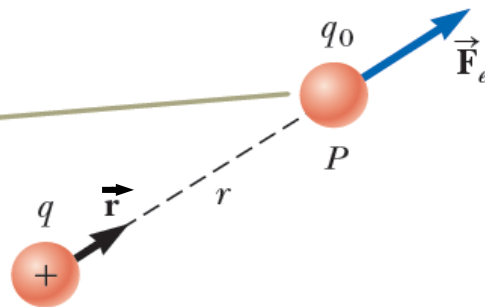
Ηλεκτρικό πεδίο αποκλειστικά εξαρτώμενο από την πηγή φορτίου q !

Ηλεκτρικά Πεδία

• Ηλεκτρικό πεδίο

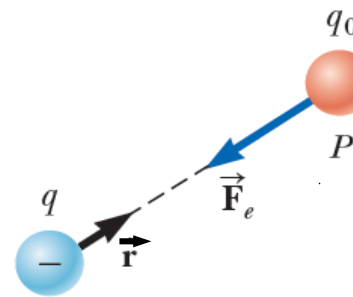
$$\vec{F}_e = q_0 \vec{E}$$

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



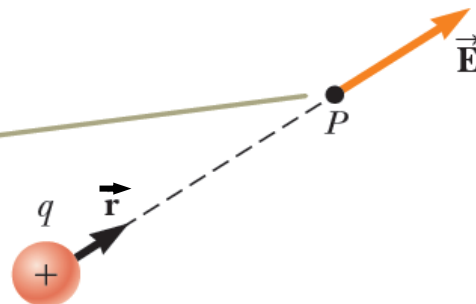
a

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



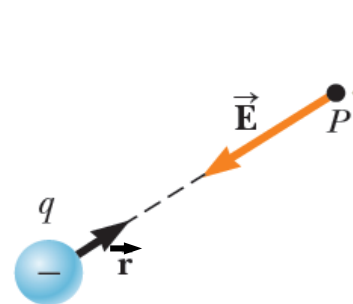
c

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 \rightarrow φορά πεδίου ακτινικά «προς τα έξω»

Αρνητική πηγή φορτίου \rightarrow φορά πεδίου ακτινικά «προς τα μέσα»

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!

Συνεχίζεται... 😊