ΦΥΣΙΚΗ ΙΙ

2021-2022

Διάλεξη 1

Εισαγωγή – Νόμος Coulomb
Ένταση Ηλεκτρικού πεδίου

Μιχάλης Ταρουδάκης

Περιεχόμενα

- Νόμος Coulomb
- Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου
- Θεώρημα Gauss
- Δυναμικό Ηλεκτρικού Πεδίου
- Αγωγοί
- Διηλεκτρικά
- Πυκνωτές
- Χωρητικότητα και Ενέργεια Ηλεκτρικού Πεδίου

Περιεχόμενα

- Ηλεκτρικό Ρεύμα
- Νόμος Ohm
- Ηλεκτρική Αντίσταση
- Μαγνητικό Πεδίο
- Νόμος Biot Savart
- Κίνηση Ηλεκτρικών Φορτίων
- Ηλεκτρομαγνητική επαγωγή

Περιεχόμενα

- Ταλαντώσεις
- Εναλλασσόμενο Ρεύμα
- Εξαναγκασμένες ταλαντώσεις
- Εξισώσεις Maxwell
- Θεώρημα Helmholtz
- Κύματα

Συνιστώμενη Βιβλιογραφία

- R.A. Serway, J.W. Jewett. Φυσική για Επιστήμονες και Μηχανικούς. Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2012.
- R. Resnick, J. Walker, D. Halliday. Φυσική, τόμος Β'. Εκδόσεις Gutenberg, 1983.
- H.D. Young and R.A. Freedman. Πανεπιστημιακή Φυσική, Τόμος Β. Εκδόσεις Παπαζήση, 2009.
- Δ. Βλάχος. Βασικά Στοιχεία Ηλεκτρομαγνητισμού, Kallipos Ανοικτά Πανεπιστημιακά Βοηθήματα, 2015.

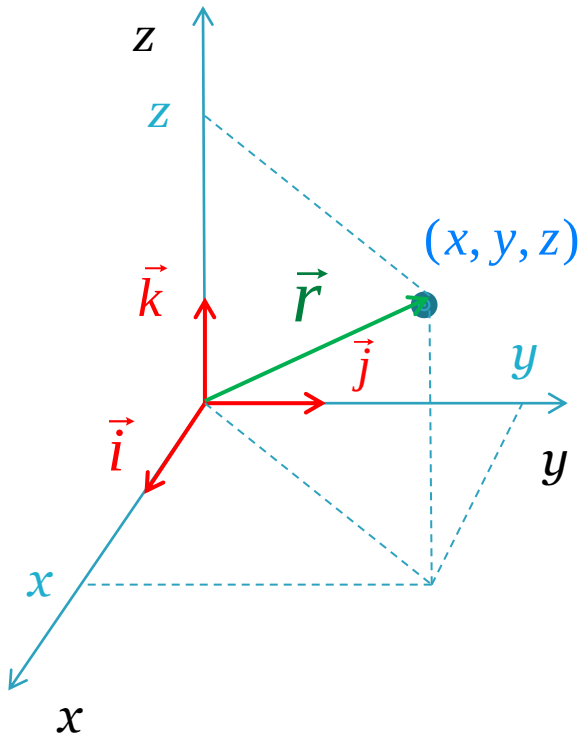
Παρακολούθηση μαθήματος

- Διαλέξεις με Powerpoint
- Ασκήσεις που θα λύνονται στην αίθουσα
- Ανακοινώσεις μέσω ιστοσελίδας μαθήματος

www.math.uoc.gr/~taroud/PhysicsII.htm

Συστήματα Συντεταγμένων

- Καρτεσιανό Σύστημα



$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k} = (x, y, z) = \vec{x}$$

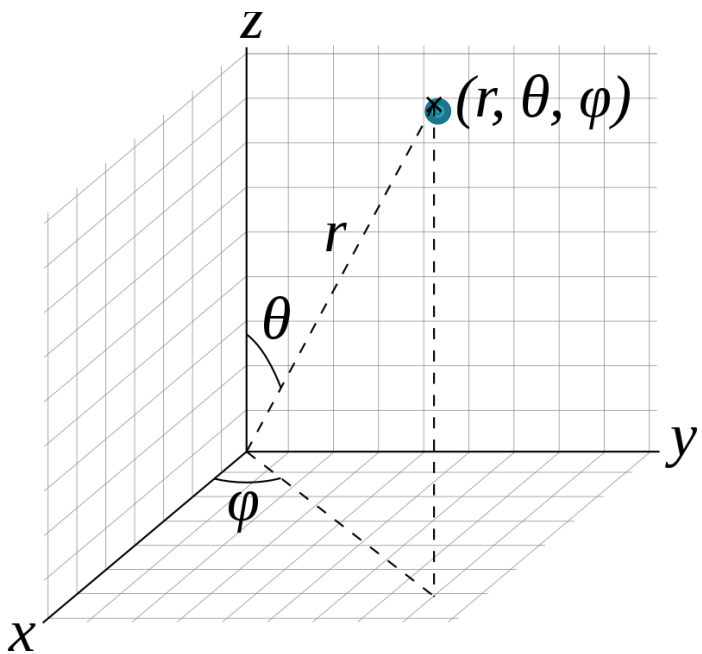
$$d\vec{r} = dx\vec{i} + dy\vec{j} + dz\vec{k}$$

$$dV = dxdydz$$

$\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}$ Μοναδιαία διανύσματα

Συστήματα Συντεταγμένων

- Σφαιρικό Σύστημα



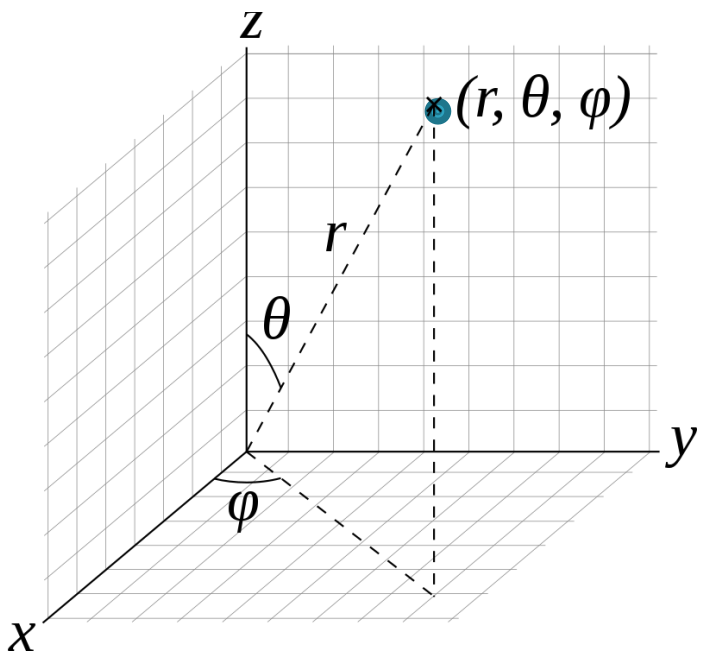
$$\vec{r} = r\hat{r} + \theta\hat{\theta} + \varphi\hat{\varphi} = (r, \theta, \varphi) = \vec{x}$$

$$d\vec{r} = dr\hat{r} + rd\theta\hat{\theta} + r\sin\theta d\varphi\hat{\varphi}$$

$$dV = r^2 \sin\theta dr d\varphi d\theta$$

Συστήματα Συντεταγμένων

- Σφαιρικό Σύστημα



$$\begin{bmatrix} \vec{i} \\ \vec{j} \\ \vec{k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin\theta\cos\varphi & \cos\theta\cos\varphi & -\sin\varphi \\ \sin\theta\sin\varphi & \cos\theta\sin\varphi & \cos\varphi \\ \cos\theta & -\sin\theta & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{r} \\ \hat{\theta} \\ \hat{\varphi} \end{bmatrix}$$

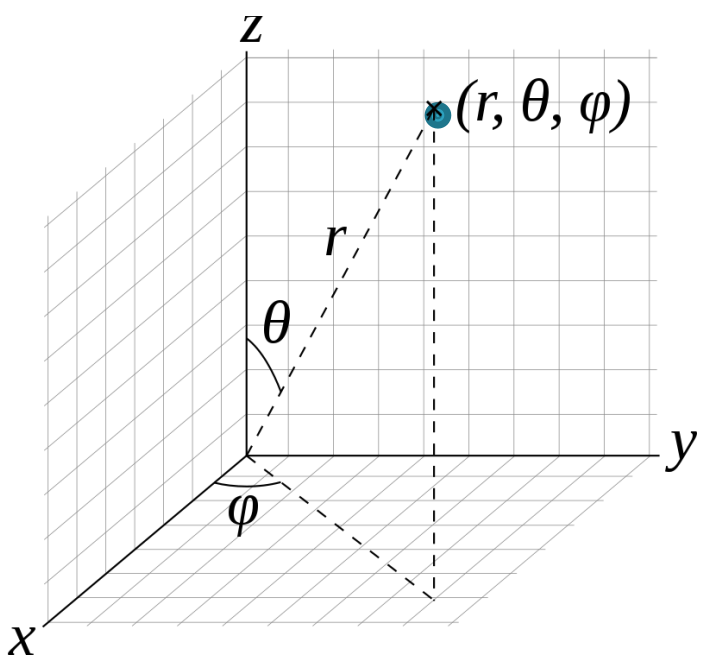
$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{z}$$

$$\varphi = \begin{cases} \tan^{-1}(y/x), & x > 0 \\ \tan^{-1}(y/x) + \pi, & x < 0 \\ \pi/2, & \alpha\lambda\lambda o\acute{\upsilon} \end{cases}$$

Συστήματα Συντεταγμένων

- Σφαιρικό Σύστημα



$$x = r\cos\varphi\sin\theta$$

$$y = r\sin\varphi\sin\theta$$

$$z = r\cos\theta$$

$$\mathbf{r} = \vec{r} = \begin{bmatrix} r\cos\varphi\sin\theta \\ r\sin\varphi\sin\theta \\ r\cos\theta \end{bmatrix}$$

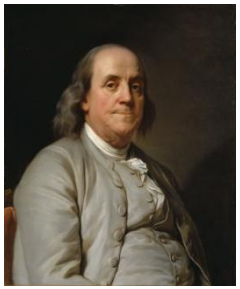
Εισαγωγή

Εποχή	Περιγραφή
7ος αι. π.Χ. (Μικρά Ασία)	Θαλής Μιλήσιος : Παρατήρηση ηλεκτρικού φαινομένου – Μικρό κομμάτι κεχριμπάρι (ήλεκτρον) άμα τριφτεί σε ύφασμα έλκει μικρά κομμάτια άχυρου
7ος αι. π.Χ.	Ο Μαγνητίτης μπορεί να έλκει κομμάτια σιδήρου
1600	W. Gilbert ; Η γη είναι ένας τεράστιος μαγνήτης
1750	J. Mitchell. Η μαγνητική δύναμη μεταξύ δύο μαγνητών είναι αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης που τους χωρίζει.
~1760	B. Franklin. Ορίζει για πρώτη φορά τις δύο διαφορετικές φύσεις του ηλεκτρικού φορτίου,

Εισαγωγή

Εποχή	Περιγραφή
1785	Ch. Coulomb. Νόμος ηλεκτρικών δυνάμεων.
1820	H. Oersted. Διαπιστώνει πειραματικά τη διασύνδεση ηλεκτρισμού με μαγνητισμό.
1830+	M. Faraday, J. Henry. Επιβεβαιώνουν τη διασύνδεση Η και Μ.
1865	J. Maxwell. Διατύπωση των 4 βασικών εξισώσεων ηλεκτρομαγνητισμού. Μαθηματικός φορμαλισμός εργασιών των Faraday, Gauss, Ampere κ.α. – Μιλάει για ηλεκτρομαγνητικά κύματα
1887	H. Hertz. Παραγωγή Η/Μ κυμάτων στο εργαστήριο. Υπολογισμός της ταχύτητας διάδοσής τους

Ηλεκτρικό Φορτίο



Benjamin Franklin
(1706–1790)
(Wikipedia)

Υπάρχουν δύο είδη φορτίων θετικό και αρνητικό αντιστοίχως.

Θετικά φορτία : τα ηλεκτρικά φορτία που αναπτύσσονται σε γυάλινη ράβδο όταν αυτή τριφτεί με ένα μεταξωτό ύφασμα. e^+ Ποζιτρόνια

Αρνητικά φορτία : τα ηλεκτρικά φορτία που αναπτύσσονται σε ράβδο εβονίτη ή σε πλαστική ράβδο όταν αυτή τριφτεί με ένα κομμάτι γούνας. e^- Ηλεκτρόνια

Ηλεκτρικό Φορτίο

Βασικές αρχές του ηλεκτρισμού :

τα ετερώνυμα φορτία έλκονται,

τα ομώνυμα φορτία απωθούνται,

αρχή διατήρησης του φορτίου :

Το ηλεκτρικό φορτίο οποιουδήποτε απομονωμένου συστήματος είναι σταθερό.

Ηλεκτρικό Φορτίο

Το ηλεκτρικό φορτίο είναι κβαντισμένο, δηλαδή είναι ακέραιο πολλαπλάσιο ενός στοιχειώδους ηλεκτρικού φορτίου ίσου με

$e=1.602177\times10^{-19}\ C$ (Coulomp)

Σωμάτιο	Σύμβολο	Φορτίο	Μάζα (kg)
Πρωτόνιο	p	1.602177×10^{-19}	1.67252×10^{-27}
Νετρόνιο	n	0	1.67482×10^{-27}
Ηλεκτρόνιο	e^-	-1.602177×10^{-19}	9.1091×10^{-31}

Ατομικά σωμάτια

Νόμος Coulomb

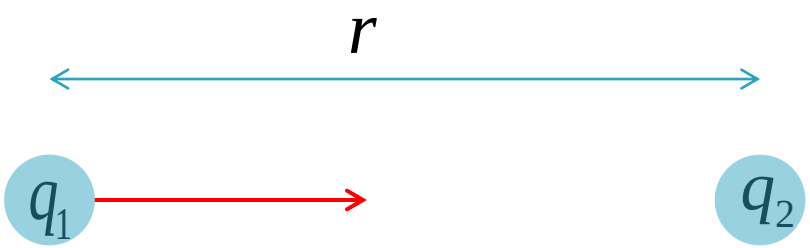
Φορτισμένο σωμάτιο (ηλεκτρικό φορτίο) q

Charles Coulomb (1736-1806)
wikipedia

Νόμος ηλεκτροστατικής αλληλεπίδρασης

Στατικά Φορτία !

$$F \sim \frac{q_1 q_2}{r^2}$$



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

k_e Σταθερά Coulomb

8,9875 x 10^9 Nt m² /coul²

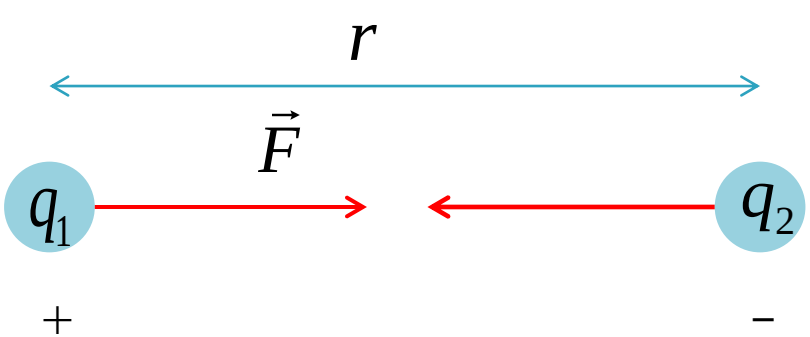
Νόμος Coulomb

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

$$k_e = \frac{1}{4\pi e_0}$$

e_o Διηλεκτρική σταθερά κενού
8,85418 x 10^{-12} coul²/Nt m²

$$F = \frac{1}{4\pi e_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$



Νόμος Coulomb

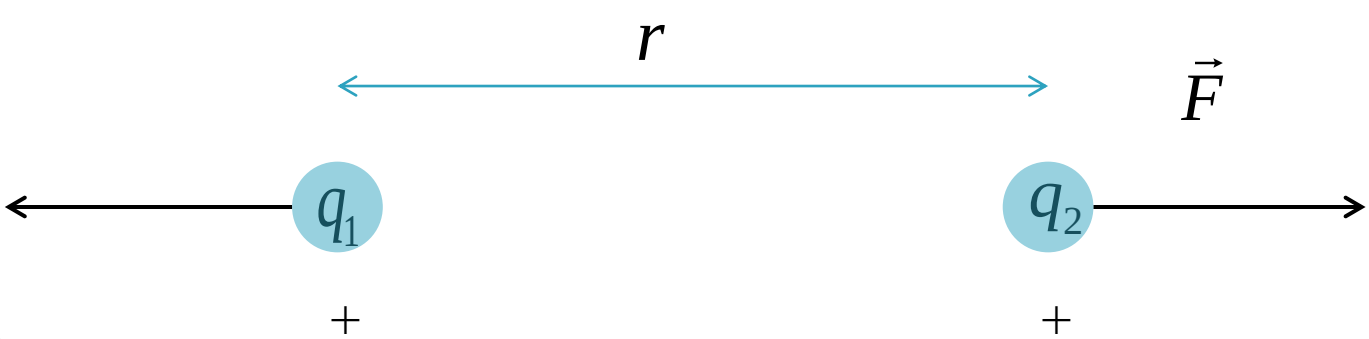
$$F = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$k_e = \frac{1}{4\pi e_0}$$

e_o Διηλεκτρική σταθερά κενού
8,85418 x 10^{-12} coul²/Nt m²

Ηλεκτροστατική Δύναμη

$$\boxed{F = \frac{1}{4\pi e_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}}$$



Νόμος Coulomb

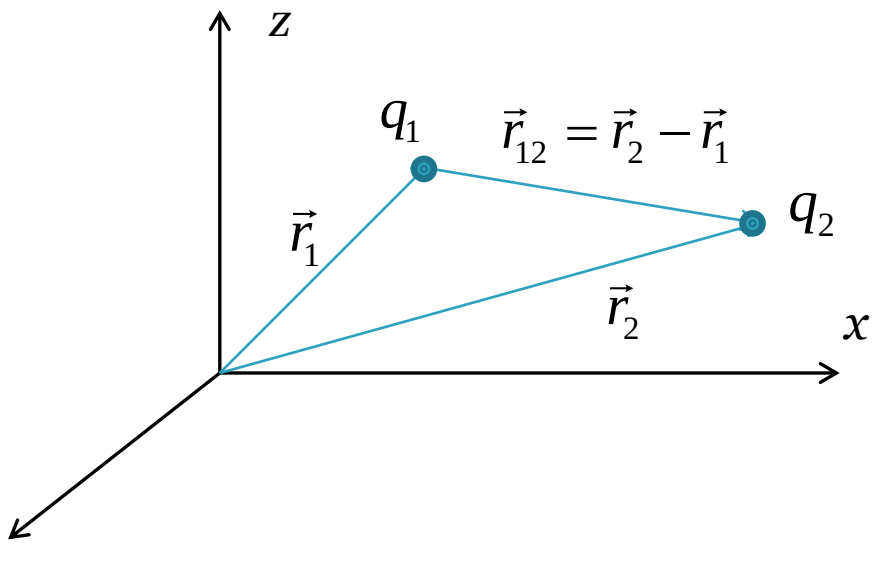
$$F = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

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

$$\vec{r} = \vec{r}_{12}$$

$$\hat{r} = \frac{\left(\vec{r}_2 - \vec{r}_1\right)}{\left\|\vec{r}_2 - \vec{r}_1\right\|}$$

$$\left\|\vec{r}_2 - \vec{r}_1\right\|$$ Απόσταση $q_1 - q_2$



Μοναδιαίο διάνυσμα στη διεύθυνση της ευθείας

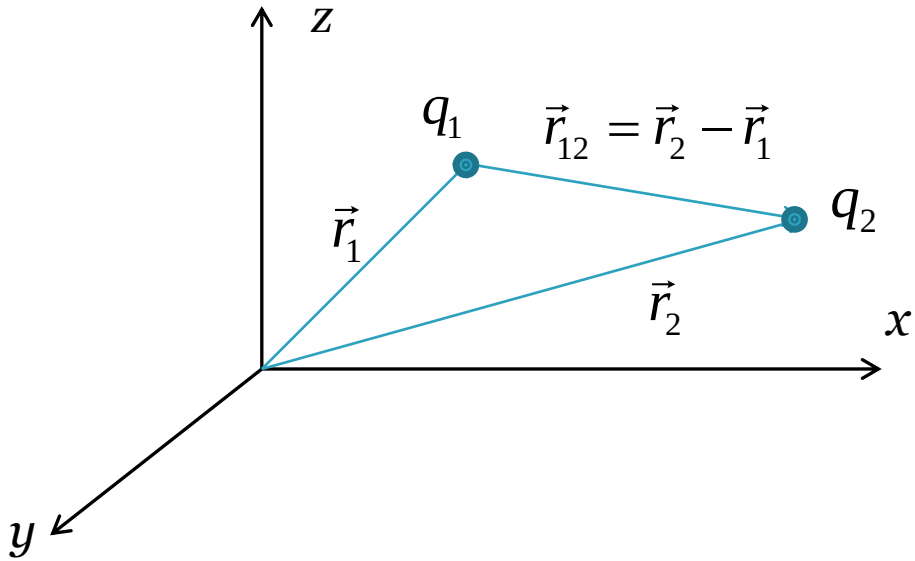
$$\vec{F} = k_e \frac{q_1 q_2}{\left\|\vec{r}_2 - \vec{r}_1\right\|^3} (\vec{r}_2 - \vec{r}_1)$$

Νόμος Coulomb

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

$$q_1 + q_2 = A$$

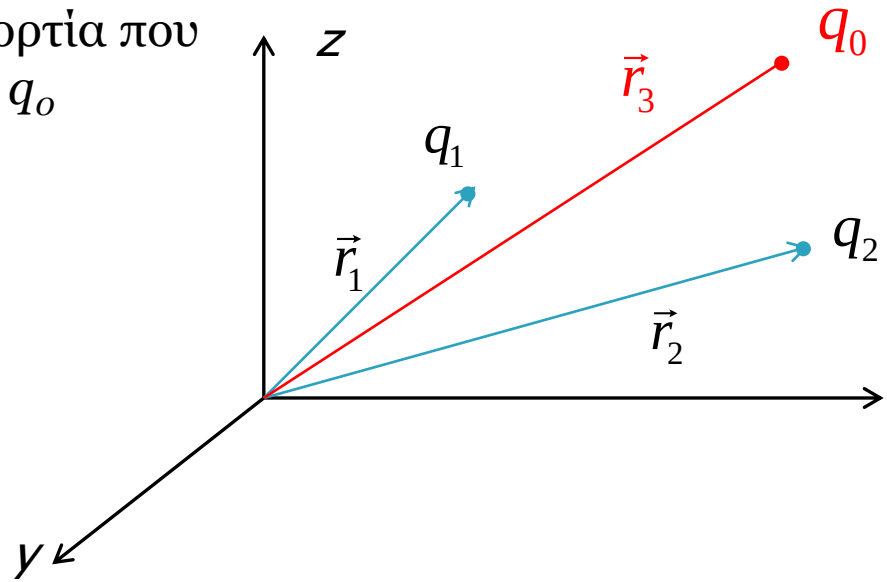
$$q_1 q_2 = B$$



Άσκηση : Δίδεται το άθροισμα δύο φορτίων καθώς και η δύναμη που εξασκούν το ένα στο άλλο σε συγκεκριμένη απόσταση. Βρείτε τα φορτία

Νόμος Coulomb

Περισσότερα φορτία που επενεργούν στο q_o



$$\vec{F} = k_e \sum_{i=1}^{N} \frac{q_i q_0}{\left\|\vec{r}_0 - \vec{r}_i\right\|^3} (\vec{r}_0 - \vec{r}_i)$$

Νόμος Coulomb

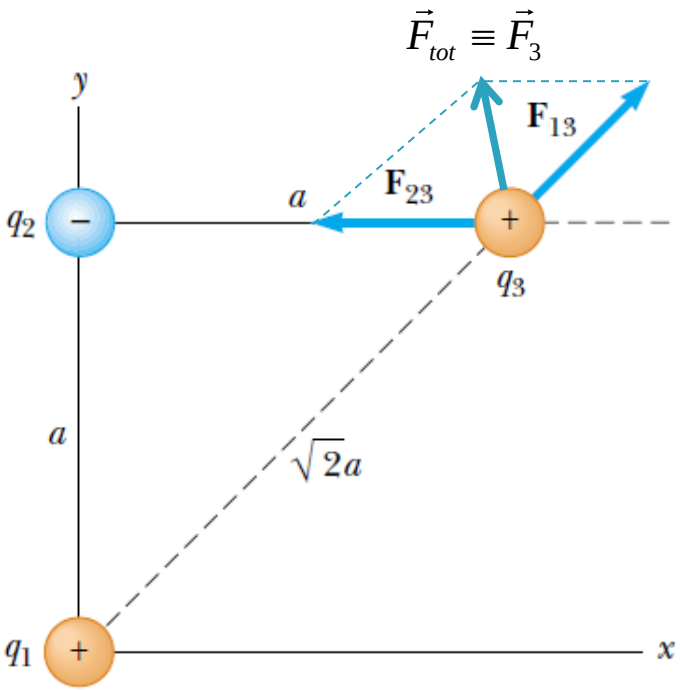
Περισσότερα φορτία που επενεργούν στο $q_o = q_3$

$$\vec{F}_{13} = k_e \frac{q_1 q_3}{\left\|\vec{r}_3 - \vec{r}_1\right\|^3}(\vec{r}_3 - \vec{r}_1)$$

$$\vec{F}_{23} = k_e \frac{q_2 q_3}{\left\|\vec{r}_3 - \vec{r}_2\right\|^3}(\vec{r}_3 - \vec{r}_2)$$

$$\left\|\vec{r}_3 - \vec{r}_1\right\| = \sqrt{2a}$$

$$\left\|\vec{r}_3 - \vec{r}_2\right\| = a$$



Serway & Jewett

$$\vec{F}_{tot} = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23} \equiv \vec{F}_3$$

Ένταση ηλεκτρικού πεδίου

Ηλεκτρικά φορτισμένη ύλη δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο

Κάθε ηλεκτρικό φορτίο q_o που βρεθεί στο πεδίο θα δεχθεί δύναμη ανάλογη του φορτίου του.

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

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

Ηλεκτρικό πεδίο $\vec{E}$

$$\vec{F}_e = k_e \frac{q_1 q_0}{r^2} \hat{r}$$

$$\vec{E} = k_e \frac{q_1}{r^2} \hat{r}$$

Το ηλεκτρικό πεδίο δεν εξαρτάται από το φορτίο ελέγχου

Διεύθυνση ηλεκτρικού πεδίου : Διεύθυνση δύναμης σε θετικό φορτίο q_o

Ένταση ηλεκτρικού πεδίου

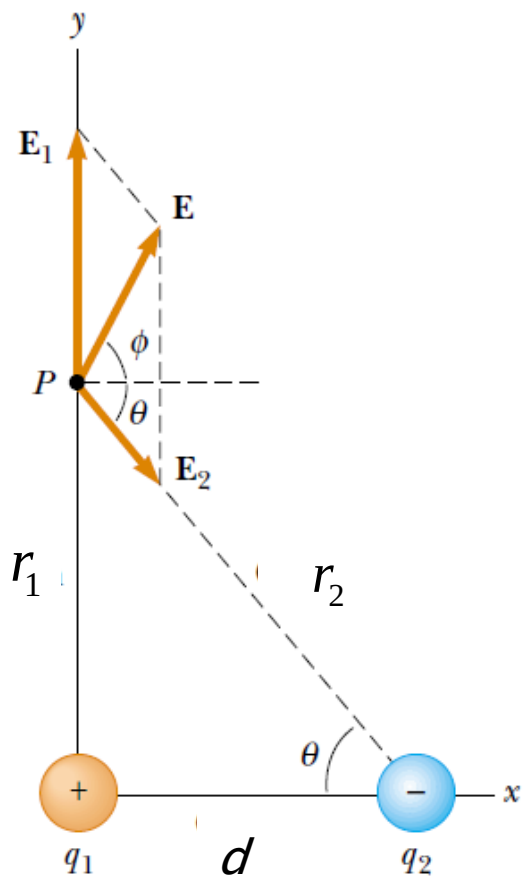
Εάν το πεδίο έχει δημιουργηθεί από N στοιχειώδη φορτία

$$\vec{E} = k_e \sum_{i=1}^{N} \frac{q_i}{r_i^2} \hat{r}_i$$

$$\vec{E} = k_e \sum_{i=1}^{N} \frac{q_i}{\left\| \vec{r}_0 - \vec{r}_i \right\|^3} (\vec{r}_0 - \vec{r}_i)$$

Ένταση ηλεκτρικού πεδίου

Περίπτωση Δημιουργίας πεδίου από δύο στοιχειώδη φορτισμένα σωμάτια



$$\vec{E}_1 = k_e \frac{q_1}{r_1^2} \hat{r}_1$$

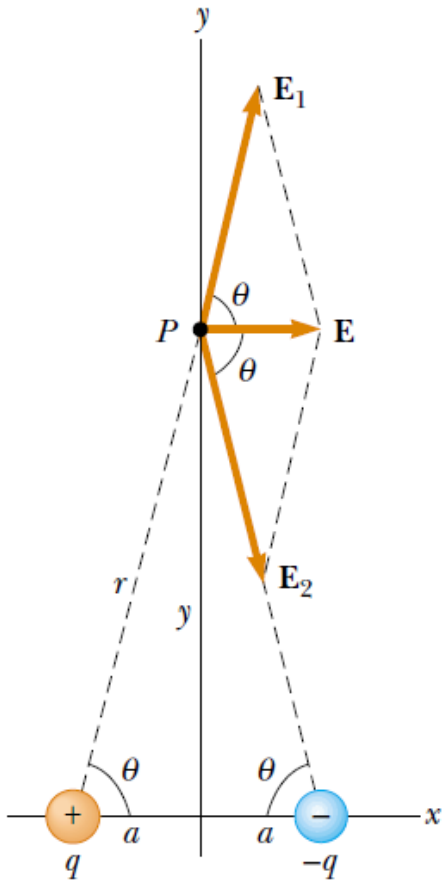
$$\vec{E}_2 = k_e \frac{q_2}{r_2^2} \hat{r}_2$$

$$\vec{E} = k_e \left(\frac{q_1}{r_1^2} \hat{r}_1 + \frac{q_2}{r_2^2} \hat{r}_2 \right)$$

Serway & Jewett

Ένταση ηλεκτρικού πεδίου

Περίπτωση Δημιουργίας πεδίου από δίπολο



Serway & Jewett

$$\vec{E} = k_e \left(\frac{q}{r_1^2}\hat{r}_1 + \frac{q}{r_2^2}\hat{r}_2 \right) = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

$$E_1 = E_2 = k_e \frac{q}{r^2} = k_e \frac{q}{(y^2 + a^2)}$$

$$E = 2E_1 \cos\theta = 2k_e \frac{q}{\left(y^2 + a^2\right)} \frac{a}{\sqrt{y^2 + a^2}}$$

$$E = 2k_e \frac{qa}{\left(y^2 + a^2\right)^{3/2}}$$

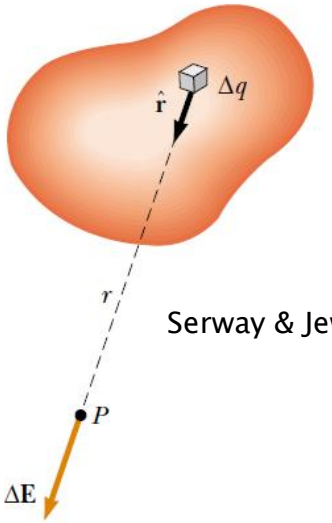
$$y \gg a$$

$$E = k_e \frac{2qa}{y^3}$$

Ένταση ηλεκτρικού πεδίου

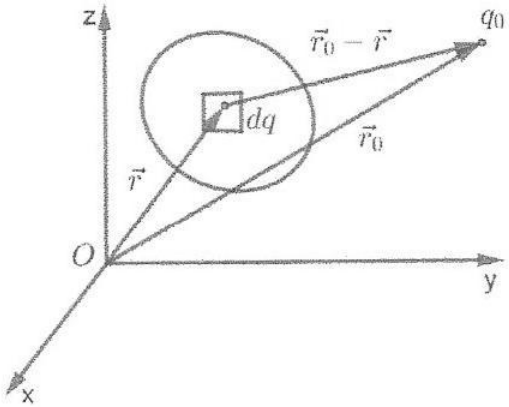
Συνεχώς κατανεμημένο φορτίο

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



Serway & Jewett

$$\vec{E} = k_e \sum \frac{\Delta q_i}{r_i^2}\hat{r}_i$$

$$\vec{E} = k_e \int_Q \frac{dq}{r^2}\hat{r}$$

$$\vec{E} = k_e \int_Q \frac{\left(\vec{r}_0 - \vec{r}\right)}{\left\|\left(\vec{r}_0 - \vec{r}\right)\right\|^3} dq$$