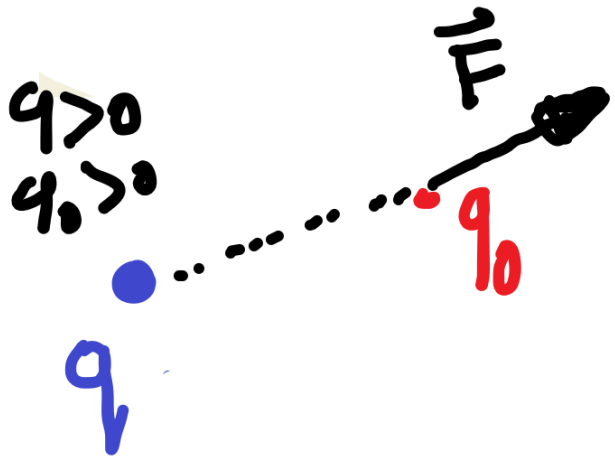


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 22: ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r^2} \hat{r}$$

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{r}$$



ΚΑΤΑΝΟΜΗ
ΦΟΡΤΙΟΥ

ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ



5.3.21

①

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_0 q}{r^2} \hat{r}$$

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{r}$$

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

- ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΠΕΡΙΓΡΑΦΕΙ ΤΟ ΤΡΟΠΟ ΠΟΥ ΕΝΑ ΦΟΡΤΙΟ Q ΕΞΑΣΚΕΙ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΣΕ ΆΛΛΑ ΦΟΡΤΙΑ ΠΟΥ ΕΙΣΕΡΧΟΝΤΑΙ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΑΥΤΟ.

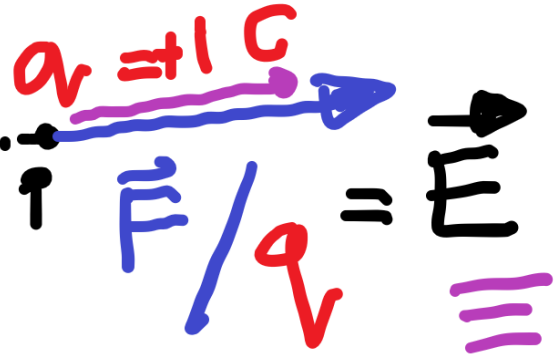
- ΤΟ ΦΟΡΤΙΟ Q ΔΗΜΙΟΥΡΓΕΙ ΕΝΑ ΠΕΔΙΟ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΠΟΥ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΕΙ. ΟΤΑΝ ΕΝΑ ΦΟΡΤΙΟ q , ΕΙΣΕΛΘΕΙ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΑΥΤΟ "ΑΙΣΘΑΝΕΤΑΙ" ΔΥΝΑΜΗ COULOMB ΛΟΓΩ ΤΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΑΠΟ ΤΟ Q

$$\underline{\vec{F}} = q_0 \vec{E} \rightarrow \vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad \left(\begin{array}{l} \text{Η ΔΥΝΑΜΗ} \\ \text{ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΦΟΡΤΙΟΥ} \end{array} \right) \quad 5.3.21 \quad \textcircled{3}$$

$$[\vec{E}] = \frac{N}{C}$$

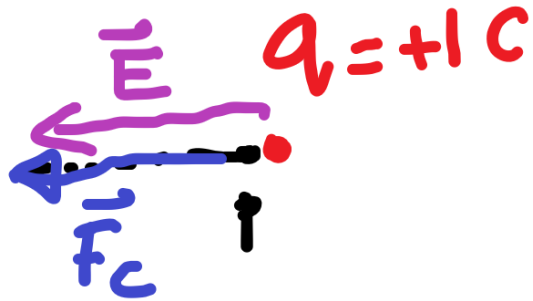
$$Q = +2C$$

Q



$$Q = -2C$$

Q



- ΤΟ ΠΕΔΙΟ ΕΙΝΑΙ ΕΝΑ ΔΙΑΝΥΣΜΑ ΠΟΥ ΕΧΕΙ ΤΗΝ ΙΔΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΜΕ ΤΗ ΔΥΝΑΜΗ ΣΕ ΘΕΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ
- ΤΟ ΜΕΤΡΟ ΤΟΥ ΠΕΔΙΟΥ \vec{E} ΕΙΝΑΙ ΙΣΟ ΜΕ ΤΗ ΔΥΝΑΜΗ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΦΟΡΤΙΟΥ

ΒΑΡΥΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

5.3.21

④

$$\vec{g} = G_N \frac{m_0 M \hat{r}}{|\vec{r}|^2}$$

ΤΟ ΒΑΡΥΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΤΟ ΔΥΜΙΟΥΡΡΕΙ Η ΜΑΖΕ Μ ΚΑΙ ΕΞΑΣΚΕΙΤΑΙ ΠΑΝΟΥ ΣΤΗ ΜΑΖΕ m_0

● ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΚΑΙ ΤΟ ΒΑΡΥΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΕΙΝΑΙ ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ

● ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΔΙΑΝΥΣΜΑ???

$\vec{A} = (A_x, A_y, A_z)$ ΟΧΙ ΑΚΡΙΒΟΣ

$$|\vec{A}| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$$
$$\hat{m} = \vec{A} / |\vec{A}|$$

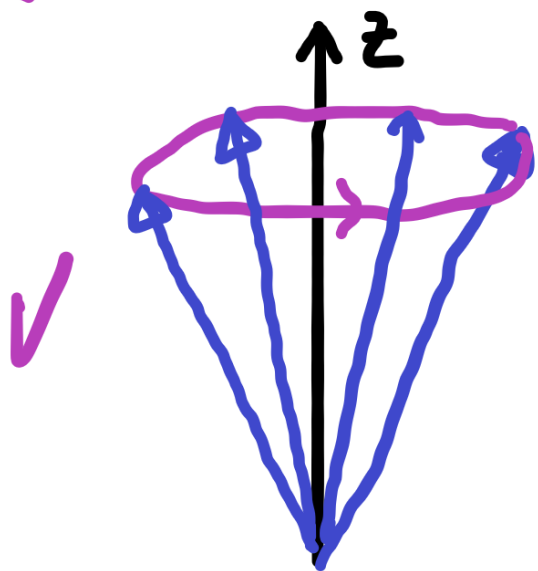
ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΑ:

5.3.21

5

$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{A} = (A_x, A_y, A_z) \\ |\vec{A}| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2} \end{array} \right.$$

ΤΟ ΜΕΤΡΟ ΤΟΥ ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΟΣ
ΔΕΝ ΑΛΛΑΖΕΙ ΕΑΝ Ο ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΗΣ
Η ΤΟ ΔΙΑΝΥΣΜΑ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΝΤΑΙ



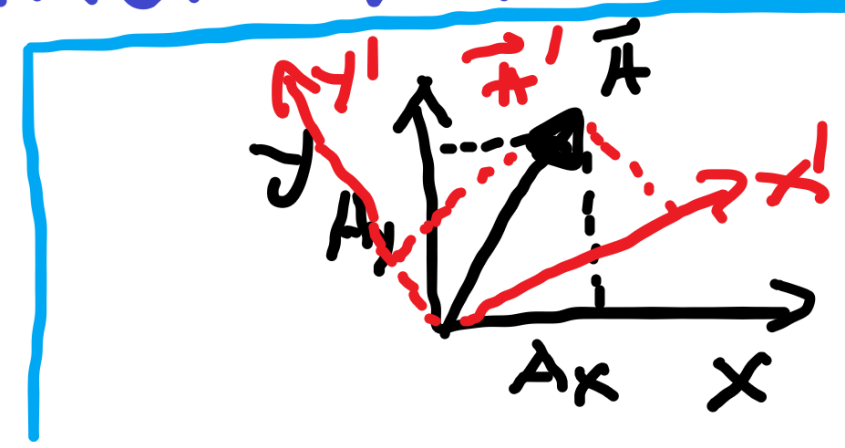
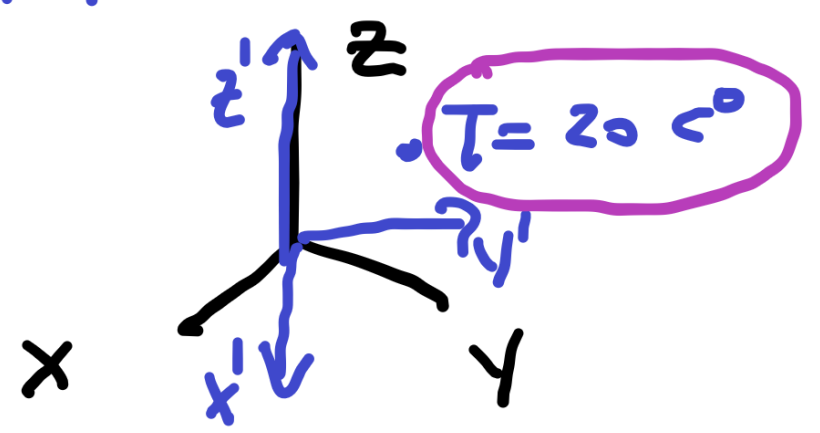
$$\vec{R} = (x, y) \xrightarrow{\text{στρόφι}} \vec{R}' = (x', y')$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\phi & -\sin\phi \\ \sin\phi & \cos\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

$$\sqrt{x'^2 + y'^2} = \sqrt{x^2 + y^2}$$
$$|\vec{R}'| = |\vec{R}|$$

ΒΑΘΜΟΤΟ ΠΕΔΙΟ : ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ, 5.4.21 ΠΙΕΣΗ, ΔΥΝΑΜΚΟ ... (6)

- ΕΝΑ ΒΑΘΜΟΤΟ ΠΕΔΙΟ ΟΡΙΖΕΙ ΕΝΑ ΑΡΙΘΜΟ ΣΕ ΚΑΘΕ ΣΗΜΕΙΟ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ
- ΠΡΟΦΑΝΟΣ Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΥΤΟΣ ΔΕΝ ΑΛΛΑΖΕΙ ΑΝ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΟΝ Η Ο ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΗΣ ΠΕΡΙΣΤΡΑΦΟΥΝ



$|\vec{A}'| = |\vec{A}|$
ΔΙΑΝΥΣΜΑ

ΝΟΜΟΣ ΥΠΕΡΘΕΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

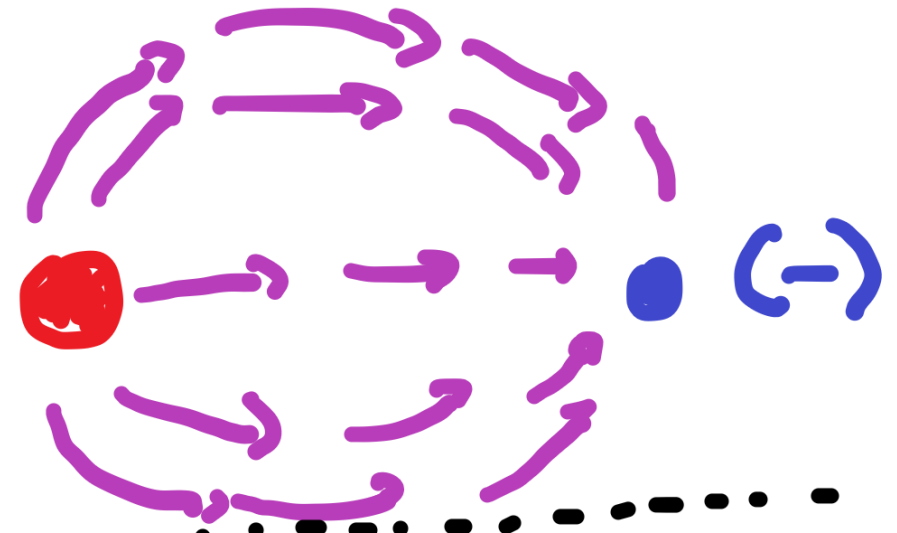
5.3.2

7



$q_1 < 0$

(+)



$$\vec{F} = q \vec{E}$$

$q > 0$

$$\frac{d}{dx} |E(x)| = 0$$

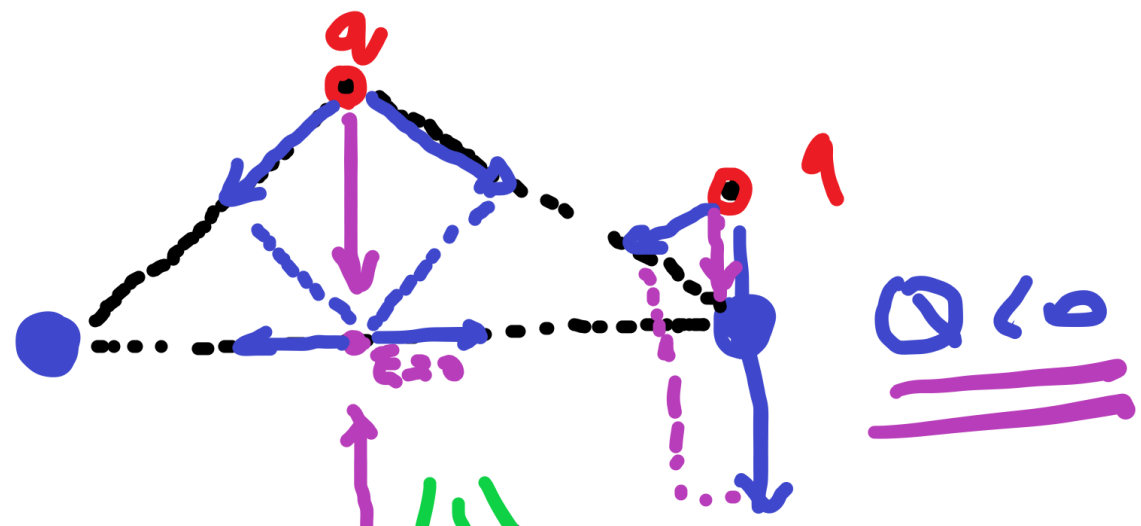
$\hookrightarrow E_{max}$

$$\frac{d^2}{dx^2} |E(x)| < 0$$

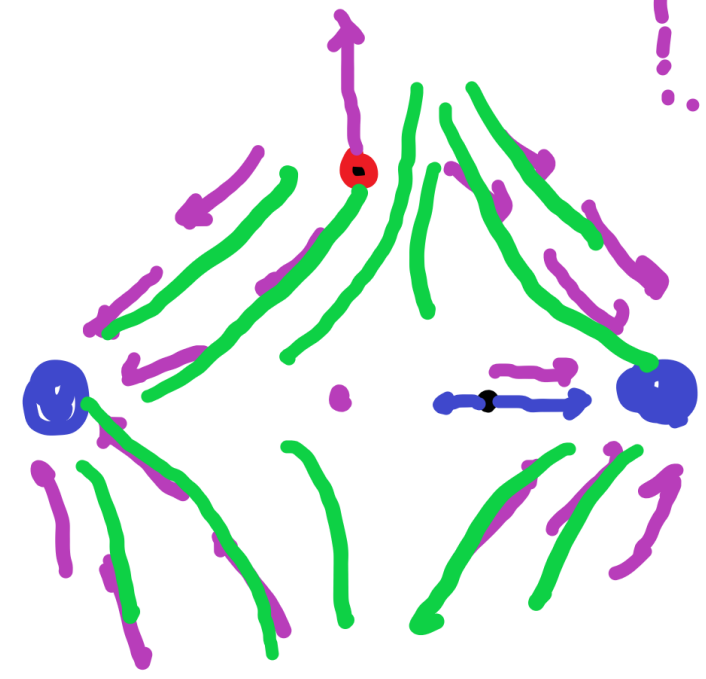
5.4.21

8

$Q < 0$



$Q < 0$



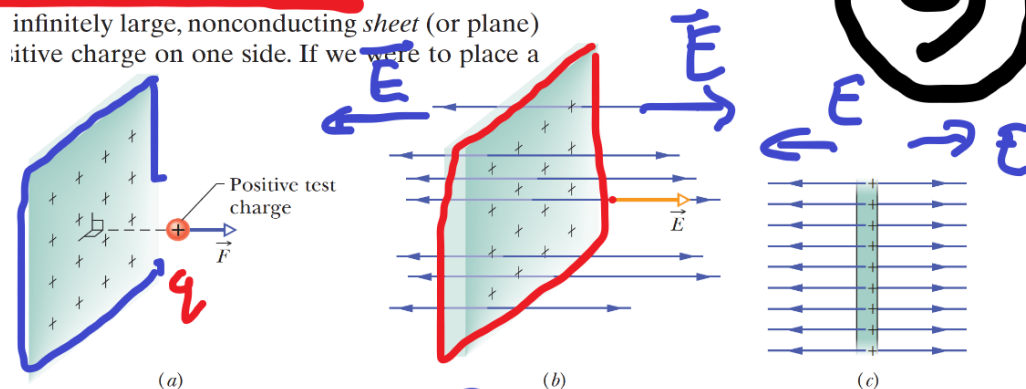
ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ # 53.21

9

MICHAEL FARADAY:

- ΣΕ ΚΑΘΕ ΣΗΜΕΙΟ ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΕΙΝΑΙ ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΟ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ

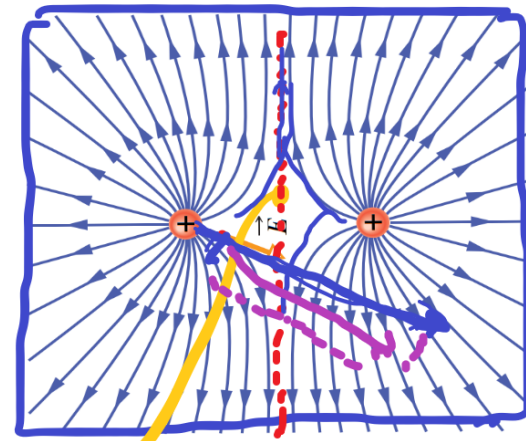
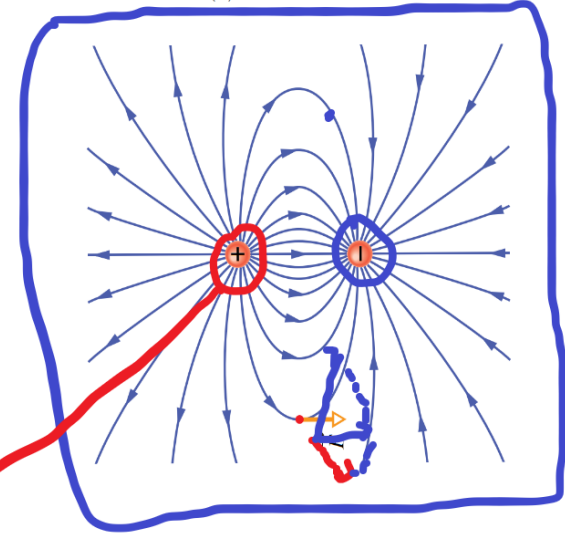
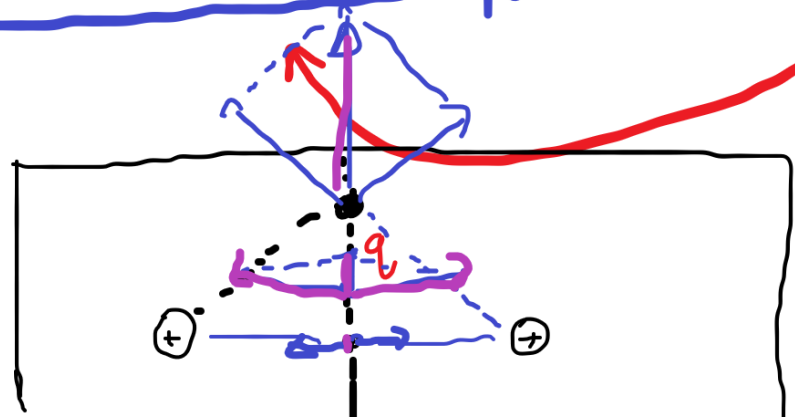
ΟΡΙΣΜΟΣ



ΔΥΝΑΜΙΚΟΝ ΓΡΑΜΜΩΝ

$n|E|$

αριθμός
ΕΜΒΑΔΟΝ

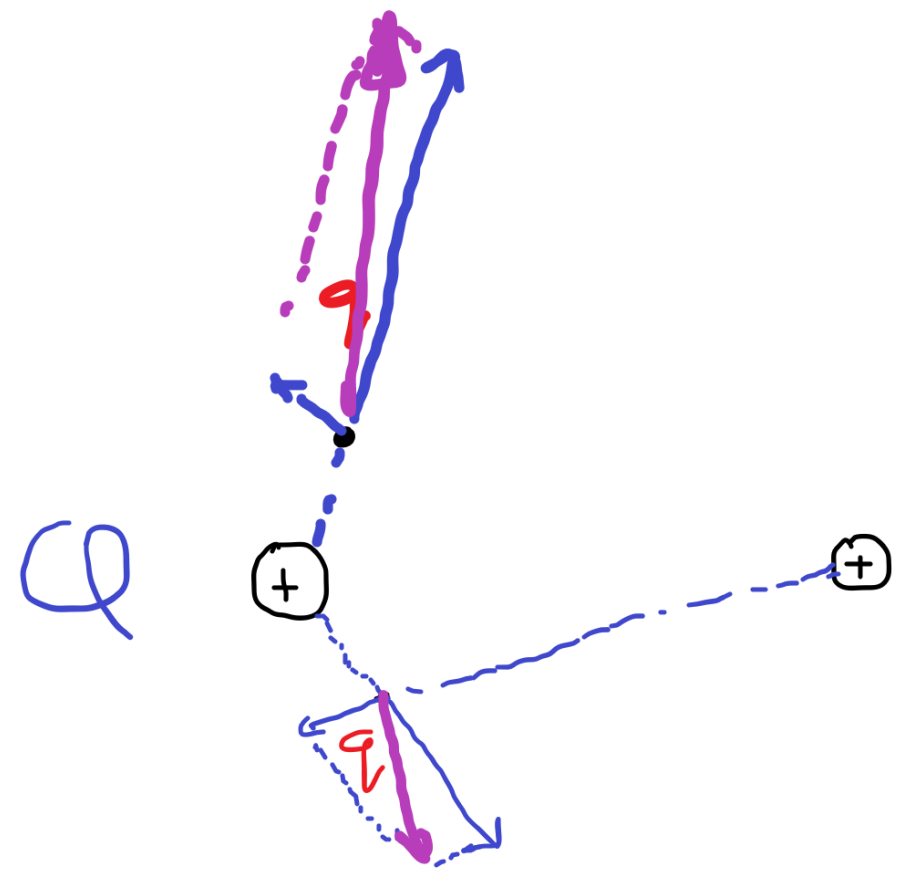


$\leftarrow \# q \rightarrow$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$$

5.3.21

9A



$Q \quad Q > 0$

Η ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

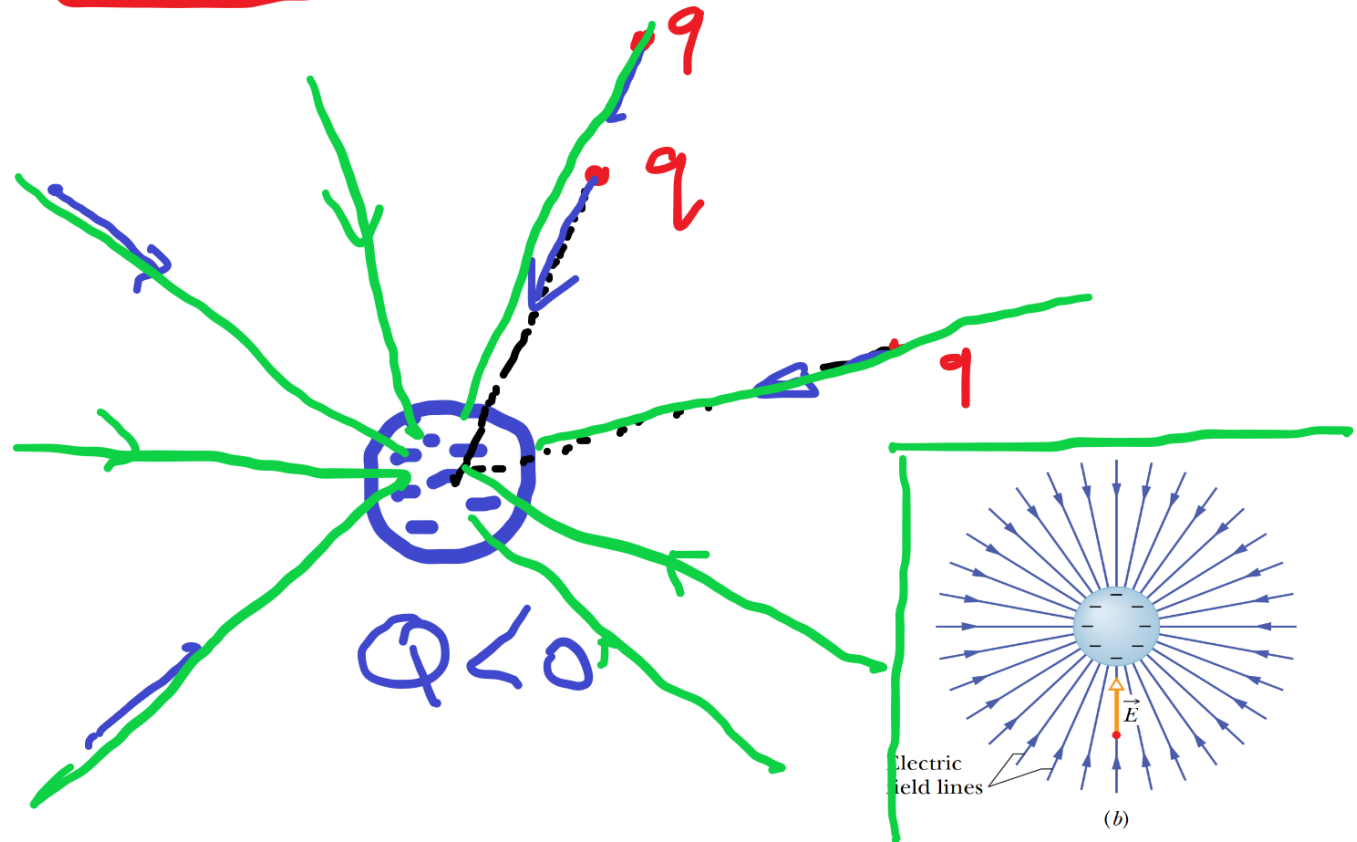
5.3.21

(10)

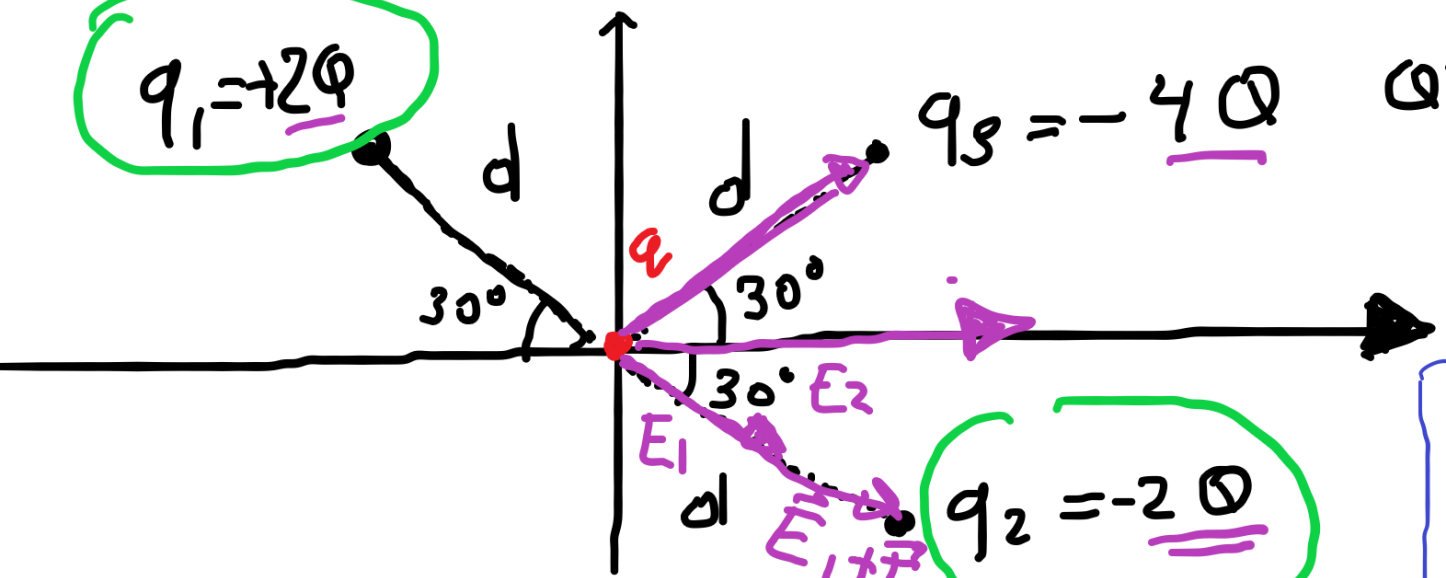
$$\vec{E} = \vec{F} / q$$

- ΟΡΙΖΕΤΑΙ ΩΣ Η ΔΥΝΑΜΗ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΦΟΡΤΙΟΥ ΠΟΥ ΕΞΑΣΚΕΙΤΑΙ ΠΑΝΩ ΣΕ ΘΕΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ
- ΕΧΕΙ ΤΗΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΠΑΝΩ ΣΕ ΘΕΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΚΑΙ ΜΕΤΡΟ $|\vec{E}| = |\vec{F}| / q$

ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ



$q_1 = +2Q$



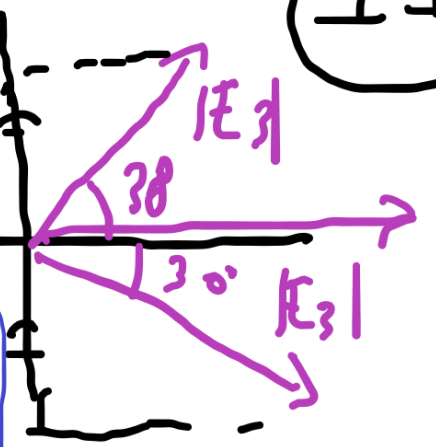
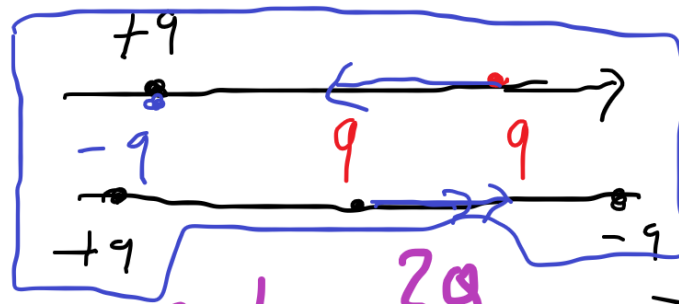
$q_3 = -4Q$ $Q > 0$

$q_2 = -2Q$

5.3.21

11

$q = 1$



$|E_1| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2Q}{d^2}$

$|E_3| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{4Q}{d^2}$

$|E_2| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2Q}{d^2}$

$|E_1| = |E_2|$

$|\vec{E}_1 + \vec{E}_2| = 2 \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2Q}{d^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{4Q}{d^2} = |E_3|$

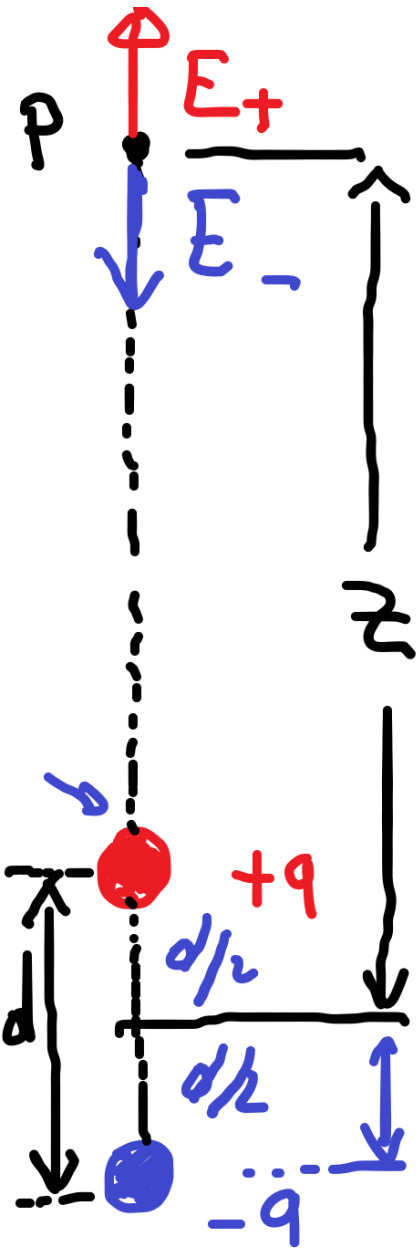
$E_{y, \text{TOT}} = 0$

$E_x = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{4Q}{d^2} \cos 30^\circ \cdot 2 = \frac{6.93Q}{4\pi\epsilon_0 d^2}$

ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΔΙΠΟΛΟΥ

5.3.21

(12)



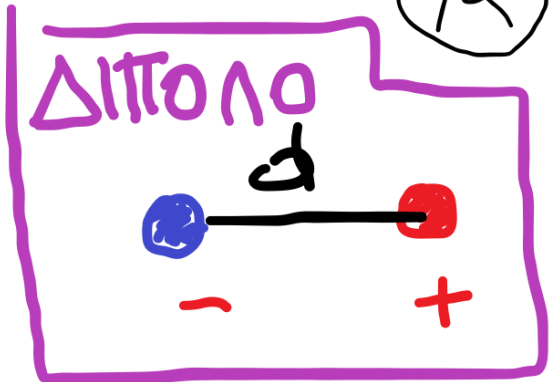
$$E_z = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{(z - d/2)^2} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{(z + d/2)^2} \Rightarrow$$

$$E_z = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{1}{(z - d/2)^2} - \frac{1}{(z + d/2)^2} \right]$$

$$E_z = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{1}{z^2 \left(1 - \frac{d}{2z}\right)^2} - \frac{1}{z^2 \left(1 + \frac{d}{2z}\right)^2} \right] = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 z^2} \frac{\left(1 + \frac{d}{2z}\right)^2 - \left(1 - \frac{d}{2z}\right)^2}{\left[\left(1 - \frac{d}{2z}\right)\left(1 + \frac{d}{2z}\right)\right]^2}$$

$$E_z = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 z^2} \frac{1 + \frac{d}{2z} + \frac{d^2}{4z^2} + \frac{d}{z} - 1 + \frac{d}{2z} - \frac{d^2}{4z^2} + \frac{d}{z}}{\left[1 - \left(\frac{d}{2z}\right)^2\right]^2} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 z^2} \frac{2d/z}{\left[1 - \left(\frac{d}{2z}\right)^2\right]^2}$$

$$E_z = \frac{2qd}{4\pi\epsilon_0 z^3} \left[1 - \left(\frac{d}{2z}\right)^2\right]^{-2}$$



$z \gg d$
 $E_z \approx \frac{2qd}{4\pi\epsilon_0 z^3} \sim \frac{1}{z^3}$
 (α-υλομα ~ 1/r^2)

ΔΙΟΝΥΜΙΚΗ ΣΧΕΣΗ ΓΙΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ

5.3.21

13

$$(1+x)^N = \sum_{n=0}^N \binom{N}{n} x^n \quad , \quad \binom{N}{n} = \frac{N!}{n!(N-n)!}$$

$$(1+x)^N = 1 + Nx + \frac{N(N-1)}{2} x^2 + \dots$$

$x \ll 1$

$x = 0.01 \rightarrow 1\%$

$(1+x)^N \approx 1 + Nx$
 $\uparrow 10^{-2}$

$(1+x)^N \approx 1 + Nx + \frac{N(N-1)}{2} x^2$

διόρθωση
ταξής - x

διόρθωση
ταξής - x²

1% τοκοσύντομο
 $(1+0.01)^{10} = 1 + \frac{10 \times 0.01}{0.1} + \frac{10(10-1)}{2} (0.01)^2$

... ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΔΙΠΟΛΟΥ

5.3.21

14

$$E_z = \frac{2qd}{4\pi\epsilon_0 z^3} \left[1 - \left(\frac{d}{2z} \right)^2 \right]^{-2} \quad (1)$$

$$x = - \left(\frac{d}{2z} \right)^2$$

$$\frac{d}{2z} \ll 1$$

$$(1+x)^N \approx 1 + Nx$$

(2)

ΜΑΚΡΙΑ ΑΠΟ
ΤΟ ΔΙΠΟΛΟ

(1) (2) Προσέγγιση τάξης $\frac{d}{z}$

$$E_z \approx \frac{2qd}{4\pi\epsilon_0 z^3} \left[1 + \underbrace{(-2)}_N \underbrace{(-1) \left(\frac{d}{2z} \right)^2}_x \right] = \frac{2qd}{4\pi\epsilon_0 z^3} \left[1 + \frac{d^2}{2z^2} \right]$$

Διορθ.
↓ τάξη
↓ α/t

$$E_z \approx \frac{2qd}{4\pi\epsilon_0 z^3} \sim \frac{1}{z^3}$$

ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΠΙΤΙ

5.3.21

15

ΑΣΚΗΣΗ-1 : Ένα σωματίδιο άλφα (ο πυρήνας ενός ατόμου ηλίου) έχει μάζα $6,64 \times 10^{-27} \text{ kg}$ και φορτίο $2e$.

Ποιο είναι το (α) μέγεθος και (β) κατεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου που θα εξισορροπεί τη βαρυτική δύναμη του σωματιδίου;

ΑΣΚΗΣΗ-2 : Μία σφαιρική σταγόνα νερού με διάμετρο $D = 1.2 \text{ mm}$ αιωρείται σε ακίνητο αέρα εξαιτίας ενός ατμοσφαιρικού ηλεκτρικού πεδίου που έχει κατεύθυνση προς τα κάτω και μέτρο ίσο με $E = 462 \text{ N/C}$. Υπολογίστε το φορτίο της σφαίρας.

ΓΙΑ ΤΟ ΣΠΙΤΙ ΑΠΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 21

5.3.21

16

ΑΣΚΗΣΗ 1:

Γνωρίζουμε ότι το αρνητικό φορτίο του ηλεκτρονίου και το θετικό φορτίο τού πρωτονίου είναι ίσα. Ας υποθέσουμε, ωστόσο, ότι αυτά τα μεγέθη διαφέρουν μεταξύ τους κατά 0,00010%. Με τι δύναμη δύο χάλκινα νομίσματα, τοποθετημένα σε απόσταση 1.0 μέτρο θα απωθήσουν το ένα το άλλο; Ας υποθέσουμε ότι κάθε νόμισμα περιέχει 3×10^{22} άτομα χαλκού. (Υπόδειξη: Ένα ουδέτερο άτομο χαλκού περιέχει 29 πρωτόνια και 29 ηλεκτρόνια.) Τι συμπεραίνεται ;

ΑΣΚΗΣΗ 2:

Ένα σωματίδιο φορτίου Q τοποθετείται, χωρίς δυνατότητα να κινηθεί, στο κέντρο ενός συστήματος συντεταγμένων x, y . Τη χρονική στιγμή $t=0$ ένα άλλο σωματίδιο με μάζα $m=0.8$ g και φορτίο $q=4.0$ μC περνά από το σημείο $x=20.0$ cm πάνω στον άξονα των x κινούμενο με ταχύτητα 50.0 m/s κάθετα στον άξονα x κατά την θετική κατεύθυνση y . Για ποια τιμή του Q θα εκτελέσει το δεύτερο σωματίδιο κυκλική κίνηση; (Παραβλέψτε τη βαρυτική δύναμη πάνω στα σωματίδια.)

ΑΣΚΗΣΗ 3:

Δύο μικρές, θετικά φορτισμένες σφαίρες έχουν συνολικό φορτίο 5.0×10^{-5} C. Οι δυο σφαίρες απέχουν 2.0 m και η κάθε σφαίρα απωθείται από την άλλη με ηλεκτροστατική δύναμη 1.0 N. Ποιο είναι το φορτίο στη σφαίρα με το μικρότερο φορτίο;

ΓΙΑ ΤΟ ΣΠΙΤΙ ΑΠΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 22

5.3.21

17

ΑΣΚΗΣΗ 1:

Ένα φορτισμένο σύννεφο παράγει ένα ηλεκτρικό πεδίο στον αέρα κοντά στην επιφάνεια της Γης. Ένα σωματίδιο με φορτίο $-2.0 \times 10^{-9} \text{ C}$, μέσα στο σύννεφο, δέχεται μια ηλεκτροστατική δύναμη με μέτρο ίσο με $3.0 \times 10^{-6} \text{ N}$ και κατεύθυνση προς τα κάτω. (α) Ποιο είναι το μέγεθος του ηλεκτρικού και η κατεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου; Ποιο είναι το (β) μέγεθος και (γ) κατεύθυνση της ηλεκτροστατικής δύναμης πάνω σε ένα στο πρωτόνιο που βρίσκεται σε αυτό το πεδίο;

ΑΣΚΗΣΗ 2:

Σε κάποια χρονική στιγμή οι συνιστώσες της ταχύτητας ενός ηλεκτρονίου το οποίο κινείται μεταξύ δύο φορτισμένων παράλληλων πλακών είναι $v_x = 1.5 \times 10^5 \text{ m/s}$ και $v_y = 3.0 \times 10^3 \text{ m/s}$. Ας υποθέσουμε ότι το ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ των πλακών είναι $\vec{E} = 120 \text{ N/C } \hat{j}$. Υπολογίστε (α) την επιτάχυνση του ηλεκτρονίου στο χώρο μεταξύ των πλακών (β) το διάνυσμα της ταχύτητας του ηλεκτρονίου όταν η συντεταγμένη x έχει αλλάξει κατά 2.0 cm .

ΑΣΚΗΣΗ 3:

Δύο μεγάλες παράλληλες πλάκες από χαλκό απέχουν απόσταση $L = 5.0 \text{ cm}$ και ομοιόμορφο ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ τους όπως απεικονίζεται στο διπλανό σχήμα. Ένα ηλεκτρόνιο απελευθερώνεται από την αρνητική πλάκα ταυτόχρονα με ένα πρωτόνιο το οποίο απελευθερώνεται από τη θετική πλάκα. Αγνοήστε τις δυνάμεις που εξασκεί το ένα σωματίδιο πάνω στο άλλο λόγω του ότι είναι φορτισμένα. Υπολογίστε την απόσταση από την θετική πλάκα του σημείου όπου το ηλεκτρόνιο και το πρωτόνιο θα συναντηθούν. (Σας εκπλήσσει που δεν χρειάζεται να γνωρίζετε ηλεκτρικό πεδίο για την επίλυση αυτού του προβλήματος;)

