ΦΥΣΙΚΗ Β' ΛΥΚΕΙΟΥ
ΘΕΤΙΚΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ

3

Ηλεκτρικό πεδίο

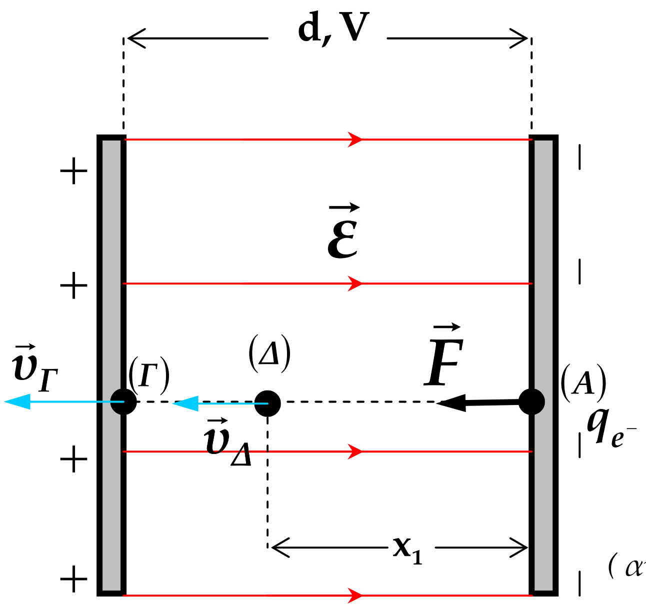
Επιμέλεια
Παρασύρης Κώστας
-Φυσικός-

Β. Κίνηση φορτισμένου σωματιδίου σε ομογενές ηλεκτροστατικό πεδίο

Ι. Κίνηση ηλεκτρονίου που αφήνεται μέσα σε ομογενές ηλεκτρικό πεδίο χωρίς αρχική ταχύτητα

Το ηλεκτρόνιο που βρίσκεται αρχικά στον αρνητικό οπλισμό του επίπεδου πυκνωτή θα δεχθεί δύναμη από το πεδίο όπως φαίνεται στο σχήμα. Επειδή το πεδίο είναι ομογενές, η δύναμη που θα δεχθεί το ηλεκτρόνιο θα είναι σε κάθε θέση του μέσα στο πεδίο σταθερή κατά μέτρο και κατεύθυνση. Επομένως το ηλεκτρόνιο θα αρχίσει να κινείται και σύμφωνα με το 2ο νόμο του Νεύτωνα θα κάνει Ευθύγραμμη Ομαλά Επιταχυνόμενη Κίνηση (Ε.Ο.Επ.Κ.) χωρίς αρχική ταχύτητα.

❑ Υπολογισμός δύναμης



$$E = \frac{F}{q_e} \Rightarrow \boxed{F = E \cdot q_e} \quad \textbf{(1)}$$

(αν η άσκηση μου δίνει την ένταση)

Όμως επειδή $E = \dfrac{V}{d}$ η σχέση (1) δίνει

$$\boxed{F = \frac{V \cdot q_e}{d}} \quad \textbf{(2)}$$

(αν η άσκηση μου δίνει την τάση του πυκνωτή και την απόσταση των οπλισμών του)

❑ Υπολογισμός επιτάχυνσης

2ος νόμος του Νεύτωνα: $F = m \cdot a \Rightarrow a = \dfrac{F}{m}$

Οπότε από τις σχέσεις (1) και (2) αντίστοιχα παίρνουμε:

$$\boxed{a = \frac{E \cdot q_e}{m}} \quad \textbf{(3)} \qquad \text{ή} \qquad \boxed{a = \frac{V \cdot q_e}{d \cdot m}} \quad \textbf{(4)}$$

❑ Εξισώσεις ταχύτητας – κίνησης

$$\boldsymbol{\upsilon = a \cdot t}$$
$$\boldsymbol{x = \tfrac{1}{2}\alpha t^2}$$

Χρόνος που χρειάζεται το e⁻ για να φτάσει στο θετικό οπλισμό

Αν t_1 ο χρόνος που χρειάζεται το ηλεκτρόνιο να φτάσει στο θετικό οπλισμό, τότε στο χρόνο αυτό θα έχει διανύσει διάστημα ίσο με την απόσταση των δύο οπλισμών οπότε θα ισχύει:

$$\left.\begin{array}{r} x = d \\ x = \tfrac{1}{2}\alpha t^2 \end{array}\right\} \Rightarrow d = \tfrac{1}{2}a t_1^2 \Rightarrow \boxed{\boldsymbol{t_1 = \sqrt{\frac{2a}{d}}}}$$

Ταχύτητα πρόσκρουσης του e⁻ στο θετικό οπλισμό

$$\left.\begin{array}{l} \upsilon = a \cdot t \\ t = t_1 = \sqrt{\dfrac{2a}{d}} \end{array}\right\} \Rightarrow \upsilon_\Gamma = \alpha t_1 \Rightarrow \upsilon_\Gamma = \alpha\sqrt{\frac{2a}{d}} \Rightarrow \boxed{\boldsymbol{\upsilon_\Gamma = \sqrt{2\alpha\, d}}}$$

Παρατηρήσεις:

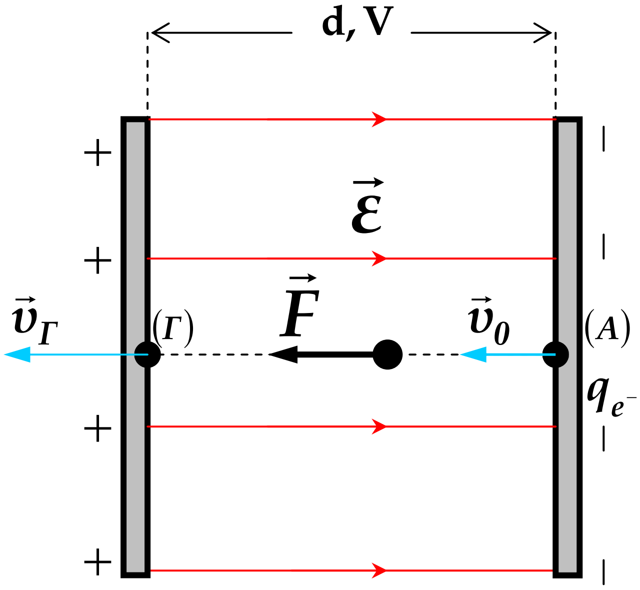
1. Το φορτίο του ηλεκτρονίου στους παραπάνω τύπους το βάζουμε κατ΄ απόλυτο τιμή.
2. Σε τυχαία θέση (Δ) που απέχει απόσταση $x=x_1$ από τον αρνητικό οπλισμό (βλέπε σχήμα), η ταχύτητα υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο όπως και στο (Γ), δηλαδή ισχύει $\upsilon_\Delta = \sqrt{2\,\alpha\,x_1}$.
3. Η ταχύτητα σε οποιοδήποτε σημείο της κίνησης του e⁻ υπολογίζεται και με το Θ.Μ.Κ.Ε.
   Θ.Μ.Κ.Ε. $_{(A)\to(\Gamma)}$:

   $$\Delta K = \Sigma W_F \Rightarrow K_\Gamma - K_A = W_{F_{\eta\lambda.}} \Rightarrow \tfrac{1}{2} m\upsilon_\Gamma^2 - 0 = F \cdot d \Rightarrow \tfrac{1}{2} m\upsilon_\Gamma^2 = E \cdot q_e d \Rightarrow$$

   $\upsilon_\Gamma = \sqrt{\dfrac{2Eq_e d}{m}}$ που είναι η ίδια με τη σχέση $\upsilon_\Gamma = \sqrt{2ad}$, κάτι που προκύπτει από τη σχέση (3).
4. Αν το φορτίο είναι θετικό ισχύουν όλα τα παραπάνω με τη διαφορά ότι το θετικό φορτίο πρέπει να αφεθεί στον θετικό οπλισμό.

II. *Κίνηση ηλεκτρονίου μέσα σε ομογενές ηλεκτρικό πεδίο με αρχική ταχύτητα $υ_0$ αντίρροπη στις δυναμικές γραμμές*

Στη περίπτωση αυτή ισχύουν ότι και στην ***I*** με τη διαφορά ότι το e^- θα κάνει Ευθύγραμμη Ομαλά Επιταχυνόμενη Κίνηση (Ε.Ο.Επ.Κ.) με αρχική ταχύτητα $υ_0$. Έτσι δύναμη και η επιτάχυνση θα δίνονται από τους τύπους της περίπτωσης ***I***. Τα μόνα που αλλάζουν είναι οι εξισώσεις ταχύτητας και κίνησης.



❑ Εξισώσεις ταχύτητας – κίνησης

$$υ = υ_0 + a \cdot t$$

$$x = υ_0 t + \tfrac{1}{2} a t^2$$

Σχέση που συνδέει την ταχύτητα με τη μετατόπιση (ανεξάρτητη χρόνου)

Εξίσωση ταχύτητας

$$υ = υ_0 + αt$$

Εξίσωση μετατόπισης

$$x = υ_0 t + \frac{1}{2} α t^2$$

Από την πρώτη σχέση επιλύοντας ως προς το χρόνο: $t = \dfrac{υ - υ_0}{α}$ **(#)**

Και με αντικατάσταση στη δεύτερη:

$$x = υ_0 \frac{υ - υ_0}{α} + \frac{1}{2} α \left(\frac{υ - υ_0}{α}\right)^2 \Rightarrow x = \frac{υ_0 \cdot υ - υ_0^2}{α} + \frac{υ^2 - 2υ_0 \cdot υ + υ_0^2}{2α} \Rightarrow$$

$$x = \frac{υ^2 - υ_0^2}{2α} \Rightarrow υ^2 = υ_0^2 + 2α\, x \Rightarrow \boxed{\boldsymbol{υ = \sqrt{υ_0^2 + 2α\, x}}}$$

Έτσι η ταχύτητα με την οποία το e^- φτάνει στο θετικό οπλισμό θα είναι

$$\boxed{\upsilon_\Gamma = \sqrt{\upsilon_0^2 + 2\alpha\, d}}$$

ενώ ο χρόνος που θέλει το e^- μέχρι να φτάσει στο θετικό οπλισμό που προκύπτει με αντικατάσταση στην **(#)** θα είναι

$$\boxed{t_1 = \frac{\sqrt{\upsilon_0^2 + 2\alpha\, d} - \upsilon_0}{\alpha}}$$

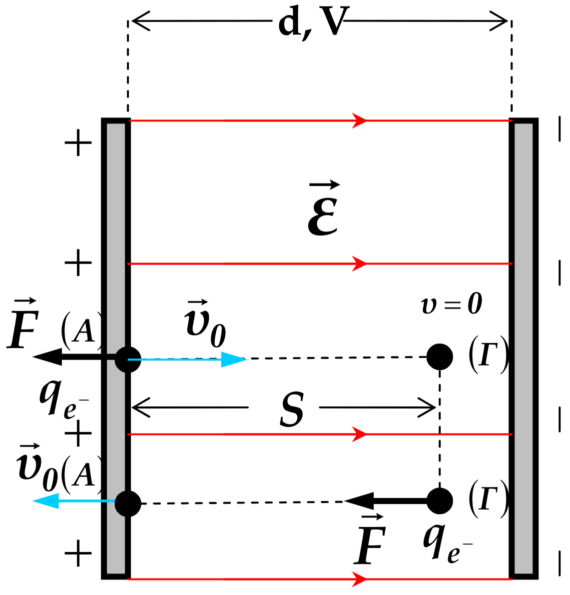
<u>Παρατηρήσεις</u>:

1. Η ταχύτητα σε οποιοδήποτε σημείο της τροχιάς του e^-, προκύπτει και με εφαρμογή του Θ.Μ.Κ.Ε. όπως και στην περίπτωση ***Ι*** .
2. Αν το φορτίο είναι θετικό ισχύουν όλα τα παραπάνω με τη διαφορά ότι το θετικό φορτίο πρέπει να έχει αρχική ταχύτητα ομόρροπη στις δυναμικές γραμμές του πεδίου.

ΙΙΙ. *<u>Κίνηση ηλεκτρονίου μέσα σε ομογενές ηλεκτρικό πεδίο με αρχική ταχύτητα υ_0 ομόρροπη στις δυναμικές γραμμές</u>*

Στην περίπτωση αυτή, επειδή η αρχική ταχύτητα του e^- είναι αντίρροπη με τη δύναμη που ασκεί το πεδίο, το e^- θα κάνει Ευθύγραμμη Ομαλά Επιβραδυνόμενη Κίνηση (Ε.Ο.Εβ.Κ) αρχικά. Η δύναμη και η επιτάχυνση θα δίνονται πάλι από τους τύπους της περίπτωσης ***Ι***.
Υπάρχουν 2 διαφορετικές υποπεριπτώσεις:
α) Το e^- φτάνει στον αρνητικό οπλισμό προτού μηδενιστεί η ταχύτητά του.
β) Η ταχύτητα του e^- μηδενίζεται τη στιγμή που φτάνει στον αρνητικό οπλισμό, ή λίγο πριν φτάσει σε αυτόν, δηλαδή το e^- σταματάει ή την στιγμή που φτάνει στον θετικό οπλισμό ή λίγο πριν φτάσει σε αυτόν.

Η πρώτη υποπερίπτωση δεν έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, γι΄ αυτό θα μας απασχολήσει η δεύτερη.
Επειδή η δύναμη που ασκείται στο e^- δεν σταματάει να του ασκείται ποτέ ενώ αυτό βρίσκεται μέσα στο πεδίο, θα το αναγκάσει από τη στιγμή που σταματάει και μετά να κινηθεί προς τα πίσω αυτή τη φορά με Ευθύγραμμη Ομαλά Επιταχυνόμενη Κίνηση (Ε.Ο.Επ.Κ.) χωρίς αρχική ταχύτητα έως ότου το e^- επιστρέψει στο σημείο από όπου ξεκίνησε.



$(\mathrm{A}) \rightarrow (\Gamma)$ *Ευθύγραμμη Ομαλά Επιβραδυνόμενη Κίνηση*

$(\Gamma) \rightarrow (\mathrm{A})$ *Ευθύγραμμη Ομαλά Επιταχυνόμενη Κίνηση*

Για να μελετήσουμε αυτή την κίνηση που κάνει το e⁻ τόσο καθώς επιβραδύνεται αλλά και όσο καθώς επιταχύνεται προς την αντίθετη φορά, χρησιμοποιούμε τις παρακάτω εξισώσεις ταχύτητας και κίνησης, με τη διαφορά ότι όταν το e⁻ επιβραδύνεται (κινείται προς δεξιά όπως φαίνεται στο σχήμα) η ταχύτητά του θα είναι θετική, ενώ όταν επιβραδύνεται (κινείται προς τα αριστερά όπως φαίνεται στο σχήμα) η ταχύτητά του θα είναι αρνητική.

❑ Εξισώσεις ταχύτητας – κίνησης

$$\upsilon = \upsilon_0 - a \cdot t$$

$$x = \upsilon_0 t - \tfrac{1}{2} a t^2$$

$\upsilon > 0 \quad \rightarrow \quad$ *το e^- κινείται προς τα δεξιά*

$\upsilon < 0 \quad \rightarrow \quad$ *το e^- κινείται προς τα αριστερά*

➯ *Σχέση που συνδέει την ταχύτητα με τη μετατόπιση (ανεξάρτητη χρόνου)*

Με τρόπο ανάλογο όπως και στην περίπτωση **ΙΙ**, προκύπτει η σχέση:

$$\boxed{\upsilon = \sqrt{\upsilon_0^2 - 2a\,x}}$$

➮ *Χρόνος που θέλει το e⁻ μεχρι να σταματήσει στιγμιαία (θέση Γ)*

σημείο Γ: $\left.\begin{array}{l} \upsilon = \upsilon_0 - \alpha t \\ \upsilon_\Gamma = 0 \end{array}\right\} \Rightarrow \boxed{t_{A\Gamma} = \dfrac{\upsilon_0}{\alpha}}$

➮ *Διάστημα (S) που διανύει το e⁻ μέχρι να σταματήσει στιγμιαία*

$$\left.\begin{array}{l} x = \upsilon_0 t - \frac{1}{2}\alpha t^2 \\ t = t_{A\Gamma} = \dfrac{\upsilon_0}{\alpha} \end{array}\right\} \Rightarrow S = \upsilon_0 \cdot \frac{\upsilon_0}{\alpha} - \frac{1}{2}\alpha\left(\frac{\upsilon_0}{\alpha}\right)^2 \Rightarrow$$

➮ *Ολικός χρόνος κίνησης του e⁻ μέχρι να γυρίσει στη θέση Α*

$$\left.\begin{array}{l} x = \upsilon_0 t - \frac{1}{2}\alpha t^2 \\ x = 0 \end{array}\right\} \Rightarrow 0 = \upsilon_0 t_{o\lambda.} - \frac{1}{2}\alpha t_{o\lambda.}^2 \Rightarrow \boxed{t_{o\lambda} = \frac{2\upsilon_0}{\alpha}}$$

Παρατηρούμε ότι $t_{o\lambda.} = 2t_{A\Gamma}$ οπότε ο χρόνος που θέλει το e⁻ από το σημείο που μηδενίζεται στιγμιαία η ταχύτητά του μέχρι να επιστρέψει στο σημείο από όπου ξεκίνησε είναι ο ίδιος.

$$t_{A\Gamma} = t_{\Gamma A} = \frac{1}{2} t_{o\lambda.} = \frac{\upsilon_0}{\alpha}$$

➮ *Ταχύτητα επιστροφής*

$$\left.\begin{array}{l} \upsilon = \upsilon_0 - \alpha t \\ t = t_{o\lambda.} = \dfrac{2\upsilon_0}{\alpha} \end{array}\right\} \Rightarrow \upsilon_{\varepsilon\pi.} = \upsilon_0 - \alpha \frac{2\upsilon_0}{\alpha} \Rightarrow \boxed{\upsilon_{\varepsilon\pi.} = -\upsilon_0}$$

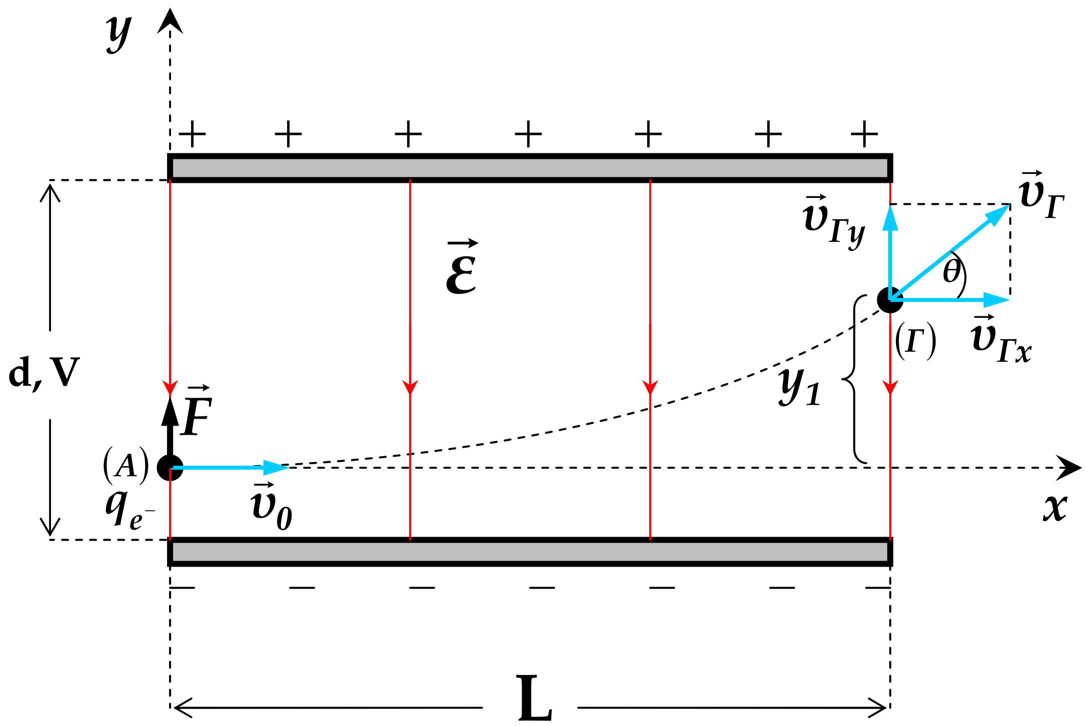
<u>Παρατηρήσεις</u>:

1. Η ταχύτητα σε οποιοδήποτε σημείο της τροχιάς του e⁻, προκύπτει και με εφαρμογή του Θ.Μ.Κ.Ε. όπως και στην περίπτωση ***I***.
2. Αν το φορτίο είναι θετικό ισχύουν όλα τα παραπάνω με τη διαφορά ότι το θετικό φορτίο πρέπει να έχει αρχική ταχύτητα αντίρροπη στις δυναμικές γραμμές του πεδίου.
3. Για να φτάσει το επιβραδυνόμενο φορτίο από τη μια πλάκα στην άλλη πρέπει το συνολικό διάστημα της επιβραδυνόμενης κίνησής

του να είναι μεγαλύτερο ή οριακά ίσο με την απόσταση των δύο πλακών, δηλαδή:

$$S \geq d \Rightarrow \boxed{\frac{\upsilon_0^2}{2\alpha} \geq d}$$

IV. Κίνηση ηλεκτρονίου μέσα σε ομογενές ηλεκτρικό πεδίο με αρχική ταχύτητα υ0 κάθετη στις δυναμικές γραμμές



Σύμφωνα με την αρχή της ανεξαρτησίας των κινήσεων[1], η κίνηση του e⁻ μπορεί να θεωρηθεί ως το αποτέλεσμα της σύνθεσης δύο επιμέρους κινήσεων που γίνονται ταυτόχρονα. Μιας κίνησης σε έναν άξονα x κάθετο στις δυναμικές γραμμές του πεδίου και του οποίου ο φορέας θα περνάει απ' την αρχική ταχύτητα του e⁻ με την οποία μπαίνει στο πεδίο, και μιας κίνησης σε ένα άξονα y παράλληλο προς τις δυναμικές γραμμές του πεδίου όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα. Το e⁻ δέχεται δύναμη σταθερή από το πεδίο με διεύθυνση παράλληλη συνεχώς στις δυναμικές γραμμές όπως φαίνεται στο σχήμα. Η δύναμη αυτή υπολογίζεται από τους τύπους (1) ή (2) της περίπτωσης ***I***.

Στον άξονα x το e⁻ δεν δέχεται καμία δύναμη οπότε θα κάνει ευθύγραμμη ομαλή κίνηση (Ε.Ο.Κ.) με σταθερή ταχύτητα $\vec{\upsilon}_0$. Στον άξονα y το e⁻ δεν

[1] **Αρχή της ανεξαρτησίας των κινήσεων**: όταν ένα σώμα κάνει ταυτόχρονα δύο κινήσεις και σε χρόνο t_1 πάει από το (Α) στο (Γ), τότε το σώμα φτάνει στην ίδια θέση αν κάνει ξεχωριστά και διαδοχικά κάθε κίνηση για χρόνο t_1 όμως την καθεμία.

έχει αρχική ταχύτητα και δέχεται συνεχώς σταθερή δύναμη $\vec{F}$ όπως φαίνεται στο σχήμα οπότε κάνει ευθύγραμμη ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση χωρίς αρχική ταχύτητα.

Άξονας x	**Άξονας y**
$F_x = 0$	$F_y = E \cdot q_e$ ή $F_y = \dfrac{V \cdot q_e}{d}$
$a_x = 0$	$a_y = \dfrac{E \cdot q_e}{m}$ ή $a_y = \dfrac{V \cdot q_e}{d \cdot m}$
$\upsilon_x = \upsilon_0$	$\upsilon_y = a_y t$
$x = \upsilon_0 t$	$y = \frac{1}{2} a_y t^2$

Χρόνος παραμονής στο πεδίο (t_1)

Όταν το e⁻ εξέλθει από το πεδίο στη θέση (Γ) θα έχει μετατοπιστεί στον άξονα x κατά L.

$$\left.\begin{array}{l} x = \upsilon_0 t \\ x = L \end{array}\right\} \Rightarrow L = \upsilon_0 t_1 \Rightarrow \boxed{t_1 = \frac{L}{\upsilon_0}}$$

Απόκλιση ή εκτροπή από την αρχική διεύθυνση κίνησης (y_1)

Για να υπολογίσουμε την κατακόρυφη απόκλιση y_1 του e⁻ απ' την αρχική του θέση, αρκεί να θέσουμε στη σχέση $y = \frac{1}{2} a_y t^2$ όπου t το χρόνο παραμονής t_1.

$$\left.\begin{array}{l} y = \frac{1}{2} a_y t^2 \\ t = t_1 = \dfrac{L}{\upsilon_0} \end{array}\right\} \Rightarrow y_1 = \frac{1}{2} a_y t_1^2 \Rightarrow \boxed{y_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{Vq_e}{dm} \cdot \frac{L^2}{\upsilon_0^2}}$$

Ταχύτητα εξόδου από το πεδίο ($υ_Γ$)

Σε κάθε σημείο της τροχιάς του e⁻ μέσα στο πεδίο και επομένως και στη θέση (Γ), η ταχύτητα του θα είναι ίση με:

$$\left.\begin{array}{l} \upsilon_{\Gamma} = \sqrt{\upsilon_{x\Gamma}^2 + \upsilon_{y\Gamma}^2} \\ \text{όπου} \\ \upsilon_{x\Gamma} = \upsilon_0 \\ \upsilon_{y\Gamma} = \alpha_y t_1 \Rightarrow \upsilon_{y\Gamma} = \dfrac{Vq_e}{dm} \cdot \dfrac{L}{\upsilon_0} \end{array}\right\} \Rightarrow$$

$$\boxed{\boldsymbol{\upsilon_{\Gamma} = \sqrt{\upsilon_0^2 + \left(\frac{Vq_e}{dm} \cdot \frac{L}{\upsilon_0}\right)^2}}}$$

Ως διανυσματικό μέγεθος η ταχύτητα υπολογίζουμε και την κατεύθυνσή της μέσω της εφαπτομένης της γωνίας θ όπως φαίνεται στο σχήμα.

$$\varepsilon\phi\theta = \frac{\upsilon_{y\Gamma}}{\upsilon_{x\Gamma}} \Rightarrow \boxed{\boldsymbol{\varepsilon\phi\theta = \frac{Vq_e}{dm} \cdot \frac{L}{\upsilon_0^2}}}$$

Η ταχύτητα του e⁻ μέσα στο πεδίο σε κάθε του σημείο θα είναι εφαπτόμενη στην τροχιά του.

Εξίσωση τροχιάς

Η εξίσωση της τροχιάς του e⁻ και οποιουδήποτε σωματιδίου είναι μια σχέση της μορφής $y = f(x)$ που συνδέει τις συντεταγμένες x, y του σωματιδίου και προκύπτει με απαλοιφή του χρόνου.

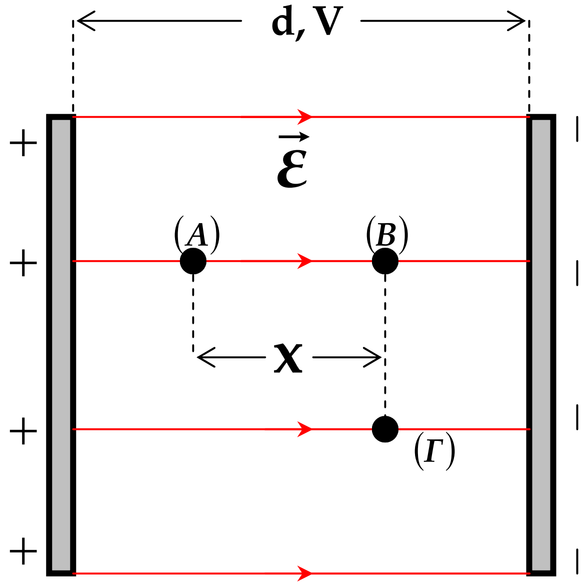
$$\left.\begin{array}{l} x = \upsilon_0 t \Rightarrow t = \dfrac{x}{\upsilon_0} \\ y = \frac{1}{2} a_y t^2 \end{array}\right\} \Rightarrow y = \frac{1}{2} \cdot a_y \left(\frac{x}{\upsilon_0}\right)^2 \Rightarrow \boxed{\boldsymbol{y = \frac{Vq_e}{2dm\upsilon_0^2} \cdot x^2}}$$

Επειδή η τελευταία σχέση είναι της μορφής $y = Ax^2$, η τροχιά του e είναι ***παραβολική*** όπως φαίνεται άλλωστε και στο σχήμα.

Για τις ασκήσεις

Δυναμικό – Διαφορά δυναμικού μεταξύ 2 σημείων στο ομογενές ηλεκτρικό πεδίο

Θεωρούμε Ο.Η.Π. που δημιουργείται ανάμεσα στους οπλισμούς επίπεδου πυκνωτή. Έστω V η τάση του πυκνωτή και d η απόσταση των οπλισμών του. Στο πεδίο αυτό ισχύει:



σχήμα 1

α) Η τάση του πυκνωτή V είναι η διαφορά του δυναμικού του θετικού οπλισμού του πυκνωτή μείον το δυναμικό του αρνητικού οπλισμού του πυκνωτή, δηλαδή ισχύει

$$V = V_{(+)} - V_{(-)}$$

οπότε
$$V_{(-)} - V_{(+)} = -V$$

β) Κατά τη φορά των δυναμικών γραμμών του πεδίου το δυναμικό ελαττώνεται. Δηλαδή ισχύει: $V_A > V_B$.

γ) Όλα τα σημεία τα οποία τα οποία βρίσκονται σε ευθεία παράλληλη στις δυναμικές γραμμές του πεδίου, δηλαδή ισαπέχουν απ' αυτές, έχουν το ίδιο δυναμικό. Δηλαδή ισχύει: $V_B = V_\Gamma$.

δ) Όταν σε άσκηση μας ζητάνε να υπολογίσουμε τη διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο σημείων Α και Β που βρίσκονται πάνω στην ίδια δυναμική γραμμή (βλέπε σχήμα 1), τότε:

i) Υπολογίζουμε τη ένταση του πεδίου $\vec{E}$ (αν δε δίνεται) από τη σχέση

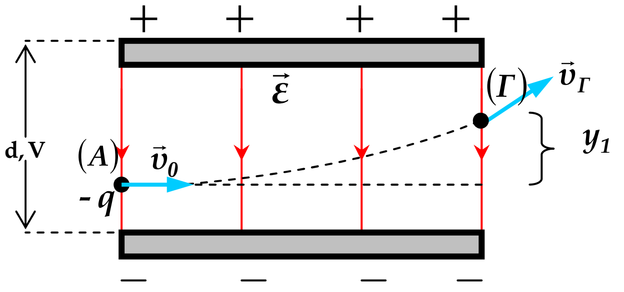
$$E = \frac{V}{d}$$

ii) Αν x είναι η απόσταση μεταξύ των δύο σημείων Α και Β των οποίων ζητάμε τη διαφορά δυναμικού, τότε επειδή η ένταση του πεδίου είναι σταθερή θα ισχύει

$$E=\frac{V_A-V_B}{x}\Rightarrow V_A-V_B=E\cdot x\overset{E=\frac{v}{d}}{\Rightarrow}\quad \boxed{V_{AB}=\frac{V}{d}\cdot x}$$

iii) Τέλος ελέγχουμε ποιο από τα δύο σημεία έχει μεγαλύτερο δυναμικό, όπως το περιγράψαμε στο β), και αναλόγως τη διαφορά δυναμικού των δύο σημείων τη βάζουμε θετική ή αρνητική.
π.χ. στο σχήμα 1 $V_{AB}>0$ ενώ $V_{BA}<0$.

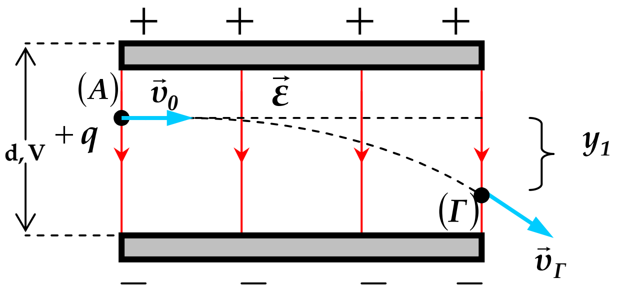
ε) Σε πολλές ασκήσεις που το φορτίο μπαίνει με αρχική ταχύτητα κάθετη στις δυναμικές γραμμές, μας ζητάνε να υπολογίσουμε τη διαφορά δυναμικού μεταξύ των σημείων εισόδου και εξόδου. Ακολουθούμε την ίδια διαδικασία με την περίπτωση δ), μόνο που αντί για την μεταξύ των δύο σημείων απόσταση βάζουμε την απόκλιση του φορτίου απ' την αρχική του θέση (βλέπε σχήματα 2 και 3).



$$\boxed{V_{AΓ}=-\frac{V}{d}\cdot y_1<0}$$

$$\boxed{V_{ΓA}=\frac{V}{d}\cdot y_1>0}$$

σχήμα 2



$$\boxed{V_{AΓ}=\frac{V}{d}\cdot y_1>0}$$

$$\boxed{V_{ΓA}=-\frac{V}{d}\cdot y_1<0}$$

σχήμα 3

Στην περίπτωση λοιπόν που το φορτίο μπαίνει κάθετα στις δυναμικές γραμμές του πεδίου, τότε αν το φορτίο είναι αρνητικό το δυναμικό στην έξοδο μεγαλώνει, ενώ αν το φορτίο είναι θετικό το δυναμικό στην έξοδο μικραίνει.

Παρατήρηση : Η διαφορά δυναμικού δύο σημείων υπολογίζεται και με εφαρμογή του Θ.Μ.Κ.Ε. μεταξύ των δύο αυτών σημείων.

$$Θ.Μ.Κ.Ε._{\ A\to Γ}: ΔK = ΣW_F \Rightarrow K_Γ - K_A = W_F \Rightarrow \tfrac{1}{2}mυ_Γ^2 - \tfrac{1}{2}mυ_0^2 = q\cdot V_{AΓ} \Rightarrow$$

$$\boxed{V_{AΓ} = \frac{m}{2q}\left(υ_Γ^2 - υ_0^2\right)}$$

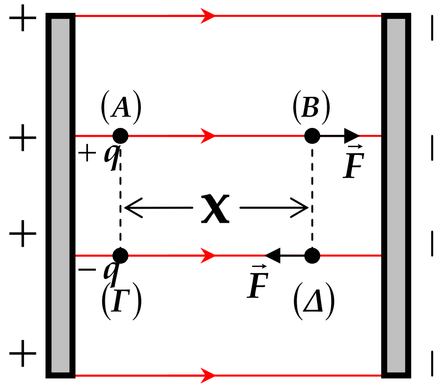
το φορτίο q με το πρόσημό του

Το έργο της δύναμης του ομογενούς ηλεκτρικού πεδίου

α) **Με βάση τον ορισμό του έργου σταθερής δύναμης**

Ο ορισμός του έργου μιας δύναμης είναι η δύναμη αυτή επί την μετατόπιση του σώματος. Αν η δύναμη και η μετατόπιση είναι της ίδιας φοράς τότε το έργο είναι θετικό, ενώ αν η δύναμη και η μετατόπιση είναι διαφορετικής φοράς τότε το έργο είναι αρνητικό.

Με βάση τα προηγούμενα και το ότι $F = E\cdot q$, έχουμε:



$AB: W_F = Eqx$

$BA: W_F = -Eqx$

$ΓΔ: W_F = -Eqx$

$ΔΓ: W_F = Eqx$

Προσοχή : Το φορτίο στο τύπο $F = E\cdot q$, το βάζουμε πάντα κατ' απόλυτο τιμή.

β) **Από τη σχέση**

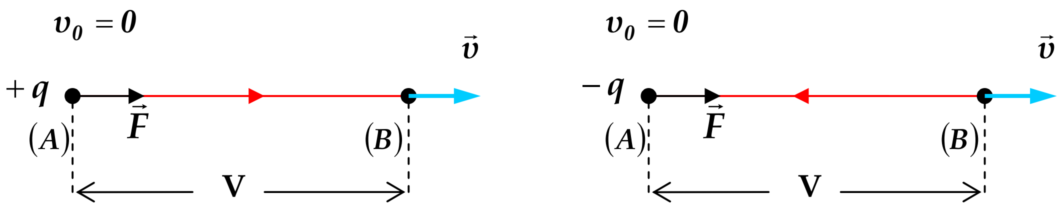
$$W_{F(A\to B)} = q(V_A - V_B)$$

Στη περίπτωση αυτή το φορτίο το βάζουμε με το πρόσημό του

γ) **Από το Θ.Μ.Κ.Ε.**

$$Θ.Μ.Κ.Ε._{\ A\to B}: ΔK = ΣW_F \Rightarrow K_B - K_A = W_F \Rightarrow \boxed{W_{F(A\to B)} = \tfrac{1}{2}mυ_B^2 - \tfrac{1}{2}mυ_A^2}$$

Επιτάχυνση φορτίου μεταξύ δύο σημείων που που παρουσιάζουν διαφορά δυναμικού V



Όταν φορτίο ανεξάρτητα από το είδος του, επιταχύνεται μεταξύ δύο σημείων που παρουσιάζουν γνωστή τάση V, εφαρμόζουμε το Θ.Μ.Κ.Ε. και υπολογίζουμε είτε την κινητική ενέργεια είτε την ταχύτητα που αποκτά το φορτίο.

$\Theta.M.K.E._{A\to B}: \Delta K = \Sigma W_F \Rightarrow K_B - K_A = W_F \Rightarrow \boxed{K_B = q\cdot V}$

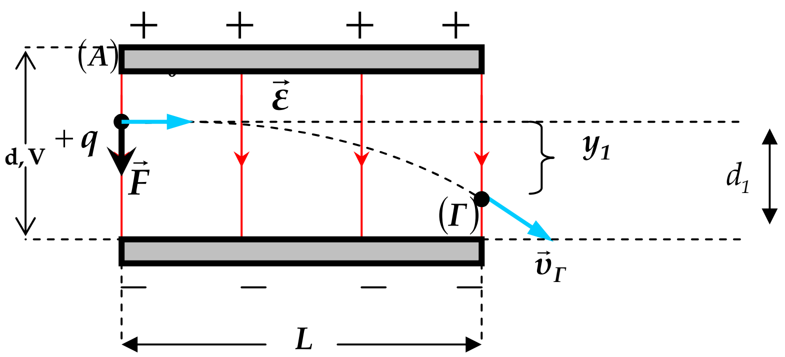
ή $\frac{1}{2}m\upsilon^2 = q\cdot V \Rightarrow \boxed{\upsilon = \sqrt{\frac{2qV}{m}}}$

Αν το φορτίο έχει αρχική ταχύτητα ($\upsilon_0 \neq 0$), τότε εφαρμόζουμε πάλι Θ.Μ.Κ.Ε οπότε έχουμε:

$\Theta.M.K.E._{A\to B}: \Delta K = \Sigma W_F \Rightarrow K_B - K_A = W_F \Rightarrow \frac{1}{2}m\upsilon^2 - \frac{1}{2}m\upsilon_0^2 = q\cdot V \Rightarrow$

$$\boxed{\upsilon = \sqrt{\upsilon_0^2 + \frac{2qV}{m}}}$$

Κίνηση φορτίου με αρχική ταχύτητα κάθετη στις δυναμικές γραμμές του πεδίου



α) Για να εξέλθει το φορτίο από το πεδίο χωρίς να συναντήσει τον αρνητικό (ή τον θετικό οπλισμό ανάλογα), πρέπει η απόκλισή του y_1 από την αρχική του θέση (A) να είναι μικρότερη ή οριακά ίση με την απόσταση d_1. Αυτό συμβαίνει αν

$$\boxed{x = L \qquad και \qquad y_1 \geq d_1}$$

β) Η κινητική ενέργεια του φορτίου μέσα στο πεδίο συνεχώς αυξάνεται.

<u>θέση (Α)</u>: $K_A = \frac{1}{2} m \upsilon_0^2$

<u>θέση (Γ)</u>: $K_\Gamma = \frac{1}{2} m \upsilon_\Gamma^2 \Rightarrow K_\Gamma = \frac{1}{2} m\left(\upsilon_0^2 + \upsilon_y^2\right)$

γ) Η δυναμική ενέργεια του φορτίου (ανεξάρτητα από το είδος του) κατά την κίνησή του μέσα στο πεδίο συνεχώς ελαττώνεται. Αν μας ζητάνε να υπολογίσουμε την μεταβολή της δυναμικής του ενέργειας κατά την κίνηση του μέσα στο πεδίο τότε επειδή η ηλεκτρικές δυνάμεις είναι δυνάμεις συντηρητικές τότε το έργο τους μεταξύ 2 σημείων ενός ηλεκτρικού πεδίου είναι ίσο το αντίθετο της μεταβολής της δυναμικής ενεργείας των δύο αυτών σημείων δηλαδή:

$$W_{F(A\to\Gamma)} = -\Delta U_{A\Gamma} \Rightarrow \qquad \boxed{\Delta U_{A\Gamma} = -W_{F(A\to\Gamma)}}$$

οπότε θα ισχύει και ότι:

$$\boxed{\Delta U_{A\Gamma} = -\Delta K_{A\Gamma}}$$

σύμφωνα με το Θ.Μ.Κ.Ε.