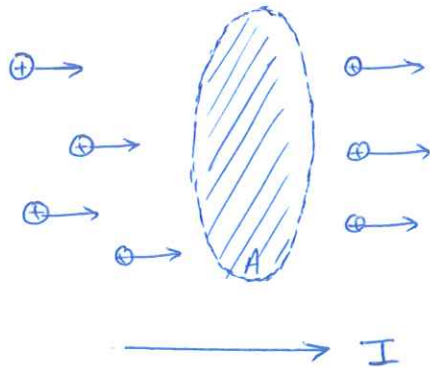


Ρεύμα - Αντίσταση - ΗΕΔ



Ρεύμα: Οποιαδήποτε κίνηση φορτίων από τη μια χωρική περιοχή σε μια άλλη.

• Έστω νοητή επιφάνεια  $A$  που διαρρέεται από φορτία.

Το ρεύμα μέσω αυτής επιφάνειας ορίζεται ως:  $I_{\text{μέσ}} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$

Το αριθμικό:  $I = \frac{dQ}{dt}$  (C/s ή αλλιώς A) Μονάδες καλούνται Ampère (A).

• Στην πραγματικότητα τα  $e^-$  κινούνται αντίθετα από τη φορά  $I$  που συμφερόθηκε στα συμβατικά δίφως από  $+$   $\rightarrow$   $-$ .

Σε αγωγό: Σε αγωγό (π.χ. Cu (χαλκός)) υπάρχουν ελπίδες  $e^-$  τα οποία κινούνται τυχαία σε όλη τη διεύθυνση. Απαι η κίνηση είναι θερμική κίνηση (οφείλεται στη θερμοκρασία) και σε θερμοκρασία δωμάτιο  $T \sim 300\text{K}$  είναι  $\langle v_e \rangle = 10^6 \text{ m/s}$  ένα ταχύτητα.

• Ο χρόνος μεταξύ δύο διαδοχικών κρούσεων των ελεύθερων  $e^-$  είναι περίπου  $\tau = 3 \cdot 10^{-14} \text{ s}$  (κρούση  $e^-$  με τα άτομα)

• Στο χαλκό η χωρική πυκνότητα  $e^-$  είναι περίπου:  
 $n = 10^{29} \text{ (e}^-/\text{m}^3\text{)}$

► Εάν τώρα επιβάλλουμε ένα συνεχές και σταθερό ηλεκτρικό πεδίο  $\vec{E}$ , τα  $e^-$  θα δεχθούν μια δύναμη:  
 $\vec{F} = -e\vec{E}$  και κατά μέτρο:  $F = eE$ .

Από νόμο Νεύτωνα: Μεταξύ δύο διαδοχικών κρούσεων θα

$$\left. \begin{array}{l} \text{ισχύει: } F_{\text{net}} = eE \\ \Sigma F = m_e \cdot a \end{array} \right\} \Rightarrow a = \frac{eE}{m_e}$$

$$\Rightarrow \frac{dv_e}{dt} = \frac{eE}{m_e}$$

$$\Rightarrow v_e = \frac{eE}{m_e} \cdot \tau, \quad \tau = \text{χρόνος μεταξύ δύο κρούσεων}$$

Όπου  $v_e$  (κίνηση εφ' όσον συμβολίζεται και  $v_d$  = Ταχύτητα ολίσθησης (drift velocity))

$$\Rightarrow \boxed{v_d = \frac{eE}{m_e} \cdot \tau}$$

⇒ Εάν τώρα εφαρμόσουμε σε ένα σύρμα με μήκος  $l$  διαφορά δυναμικού  $\Delta V$ , τότε:  $\Delta V = E \cdot l$

$$\Rightarrow E = \frac{\Delta V}{l}$$

Αν π.χ.  $\Delta V = 10 \text{ V}$ ,  $l = 10 \text{ m}$  υπολογίζουμε:  $v_d = \frac{1.6 \cdot 10^{-19}}{10^{-20}} \cdot 3 \cdot 10^{-14}$

$\Rightarrow v_d \approx 5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$  (όσο ένα σαλιγκάκι !)

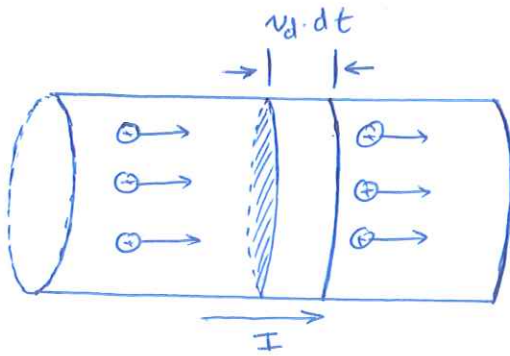
Ερώτηση: Πώς γίνεται αφού κινούνται τόσο αργά λόγω του  $\vec{E}$ , όταν πατάμε το διακόστη η λάμπα να ανάβει αμέσως;

Απάντηση:

Όταν πατάμε τον διακόστη από που συμβαίνει <sup>είναι</sup> ότι το ηλεκτρικό πεδίο μεταδίδεται με ταχύτητα  $c$  (ταχύτητα φωτός) (θα δούμε σε άλλα μαθήματα γιατί) σε όλο το σύρμα.

$\Rightarrow$  Τα  $e^-$  αρχίζουν σε όλο το σύρμα σχεδόν ταυτόχρονα με την  $v_d$ .

$\Rightarrow$  Τα  $e^-$  που είναι στη λάμπα κινούνται με  $v_d$  σχεδόν αμέσως.



- Θεωρούμε κυλινδρικό αγωγό με εμβαδό διατομής  $A$ .
- Η συγκέντρωση φορτίων είναι:  $n \cdot q \text{ (C/m}^3\text{)}$ ,  $n = \frac{\text{\#αυτοκέντρων}}{\text{m}^3}$ ,  $q = \text{φορτίο καθενός}$
- Εάν εφαρμοστούμε  $\vec{E}$  τα φορτία θα κινηθούν με ταχύτητα  $\vec{v}_d$ .

Ορίζουμε την Χωρική Πυκνότητα ρεύματος:  $\boxed{\vec{J} = nq \cdot \vec{v}_d}$

$$\vec{J} = \underbrace{(n \cdot q)}_{\substack{\text{Coulomb} \\ \text{m}^3}} \cdot \underbrace{(\vec{v}_d)}_{\substack{\text{m} \\ \text{s}}} = \frac{\text{Coulomb}}{\text{m}^2 \text{s}}$$

$\vec{J}$  = Ποσότητα φορτίων που περνούν για επιφάνεια  $A$  καθίς ανά second.

Σχόλιο:

► Από τη χωρική πυκνότητα  $\vec{J}$  μπορούμε να πάρουμε το  $I$  ως:

$$I = \iint_S \underbrace{\vec{J} \cdot d\vec{a}_1}_{\substack{\text{Coulomb} \\ \text{m}^2 \text{s}}} = \frac{C}{s} (\text{in } A)$$

Συνεπώς:

$$\vec{J} = nq \vec{v}_d ;$$

Όπως δείξαμε ότι:  $\vec{v}_d = \frac{q \cdot \tau}{m_e} \vec{E} ;$

$$\Rightarrow \vec{J} = \frac{nq^2 \tau}{m_e} \vec{E} = \sigma \vec{E}$$

Οπότε ο Ν. Ohm είναι:

$$\boxed{\vec{J} = \sigma \vec{E}}$$

, με  $\sigma = \frac{nq^2 \tau}{m_e}$

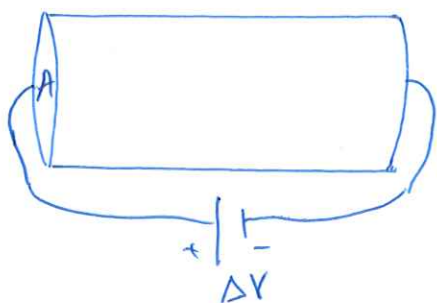
καλείται ειδική  
αγωγιμότητα με  
μονάδες:

$$\frac{A}{V \cdot m}$$

Η παραπάνω έκφραση είναι γνωστή ως  
αριθμητικός νόμος του Ohm.

Για να πάρουμε τον γνωστό από το  
σχολείο Ν. Ohm πρέπει να κάνουμε τις ακόλουθες  
μοδίες - αντιστοιχίες.

> Ν. Ohm



Θεωρούμε σταθερή  $\Delta V$  σε χαλκό καλώδιο μήκους  $L$ .

$$\Rightarrow \Delta V = E \cdot L \Rightarrow E = \frac{\Delta V}{L} \quad (1)$$

τότε η σχέση

$$J = \sigma E$$

γίνεται:

και το πρώτο είναι:

$$I = J \cdot A \quad (2)$$

$$\Rightarrow \frac{I}{A} = \sigma \frac{\Delta V}{L}$$

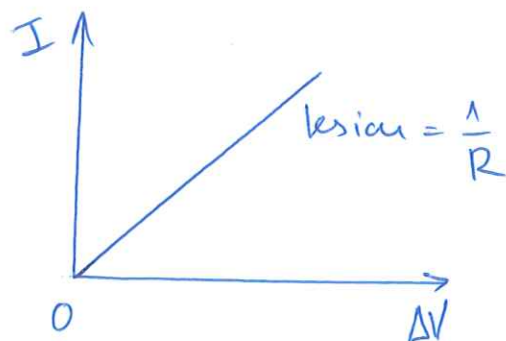
$$\Rightarrow \Delta V = \frac{L}{\sigma A} \cdot I$$

και ορίζουμε  $R = \frac{L}{\sigma A} \text{ (}\underline{\underline{\Omega}}\text{)}$

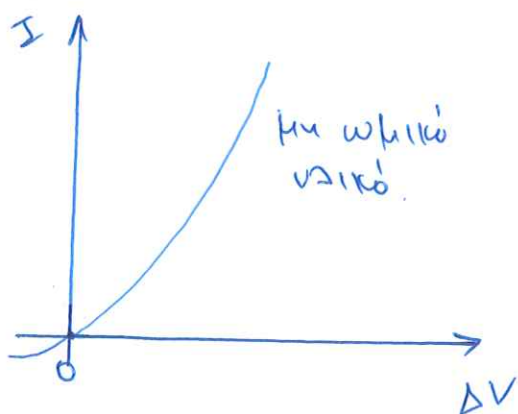
ως αντιστάση, με μονάδες:

$$\frac{\text{Volt}}{\text{Ampere}} = \frac{V}{A} = 1 \frac{\Omega}{\text{(Ohm)}}$$

$$\Rightarrow \boxed{\Delta V = I \cdot R}$$



Πολλά υλικά έχουν πείραγμα σαν το ακόλουθο:



Σχόλιο: Όταν θέλουμε να συμβολίσουμε την ύπαρξη αντιστάσης σε ένα κύκλωμα (π.χ. με καλώδια χαλκού) σχεδιάζουμε το σύρμα ως:

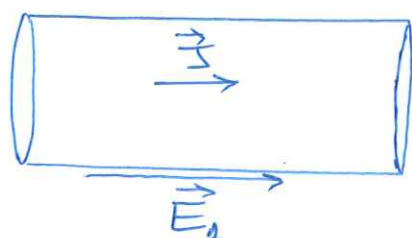


Προσοχή: Δεν σημαίνει ότι εδώ μόνο έχω αντιστάση!! Όταν το καλώδιο έχει αντιστάση και μήκος  $R = \frac{L}{\sigma A}$ , ανάλογη του μήκους του!!

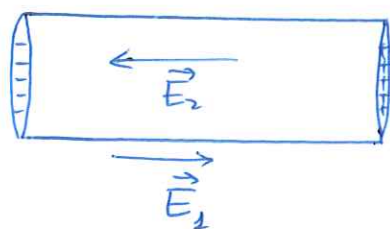
## Ηλεκτροεξερμηκή δύναμη (ΗΕΔ)

► Για να διαρρέεται ένας αγωγός από στατικό ρεύμα  $I$  πρέπει να αποτελεί μέρος κλειστού βρόχου (κλειστού κυκλώματος)

► Αν δεν ήταν έτσι, αν εφαρμόζαμε  $\vec{E}_1$  θα άρχιζε να ρέει ρεύμα  $\vec{J} = \sigma \vec{E}_1$  και θα μαγνηύονταν φορτία στις άκρες.



$\Rightarrow$  συσσωρεύονται φορτία λόγω  $\vec{E}_1$



$\Rightarrow$  δημιουργείται  $\vec{E}_2$  που αναστεί το  $\vec{E}_1$

$$\vec{E}_0 = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = 0 \Rightarrow \vec{E}_2 = -\vec{E}_1$$

Άρα: Για να υπάρξει στατικό ρεύμα σε αγωγό πρέπει:

- Να έχουμε κλειστό κύκλωμα
- Να υπάρχει κάπου στο κύκλωμα μια ληψή η οποία η οποία θα αυξάνει το δυναμικό ενέργεια των φορτίων από χαμηλό σε υψηλό δυναμικό.

\* Σχόλιο: Όπως γίνεται με το σωτήριον όπου μια αντλία ανυψώνει το νερό (υψομέτρου το βάθους) και μετά το νερό πέφτει σε χαμηλότερο δυναμικό.

## Ορισμός ΗΕΔ:

Η αλλαγή που κινεί τα φορτία από χαμηλό σε υψηλότερο δυναμικό καλείται ΗΕΔ.  
Συμβολίζεται ως  $\mathcal{E}$ .

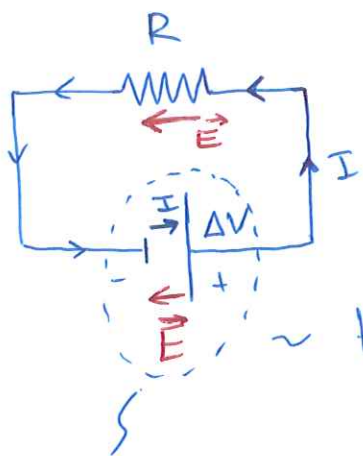
► Η ΗΕΔ ΔΕΝ είναι δύναμη, αλλά δυναμικό!

► Στοιχεία που παράγουν ΗΕΔ:

- μπαταρίες
- ηλεκτρικά στοιχεία
- γεννήτριες
- ...

► Ιδανική ΗΕΔ: διατηρεί σταθερή διαφορά δυναμικού  $\Delta V$  ανεξάρτητα από το ρεύμα.

Παράδειγμα: Φανταστείτε το ακόλουθο κύκλωμα:



~ Η μπαταρία πρέπει με κάποιο τρόπο να υπερνικάει το  $\vec{E}$  από τα καλώδια στο αέρα.

Θα πρέπει η μπαταρία (που ρίχνει το ρεύμα των αντρίων νεφών) να προσδίδει δυναμική ενέργεια στα  $e^-$  τα οποία μετά θα τρέχουν ως ρεύμα στο κύκλωμα.

## Αρχή Γαλβανίας Ηλεκτροδυναμικής

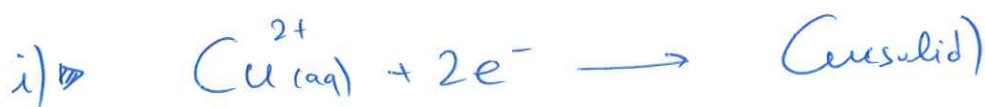
-9-

Η αρχή Γαλβανίας ως Ηλεκτροδυναμική βασίζεται στο λεγόμενο Γαλβανικό ή Βολταϊκό στοιχείο. Αυτό βασίζεται σε ατομικό επίπεδο στις εξής δύο χημικές αντιδράσεις προκειμένου να παραχθεί ρεύμα:



$$E^{\circ}_{\text{Zn}/\text{Zn}^{2+}} = 0.76\text{V}$$

(οξείδωση)



$$E^{\circ}_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} = 0.34\text{V}$$

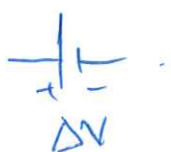
(αναγωγή)

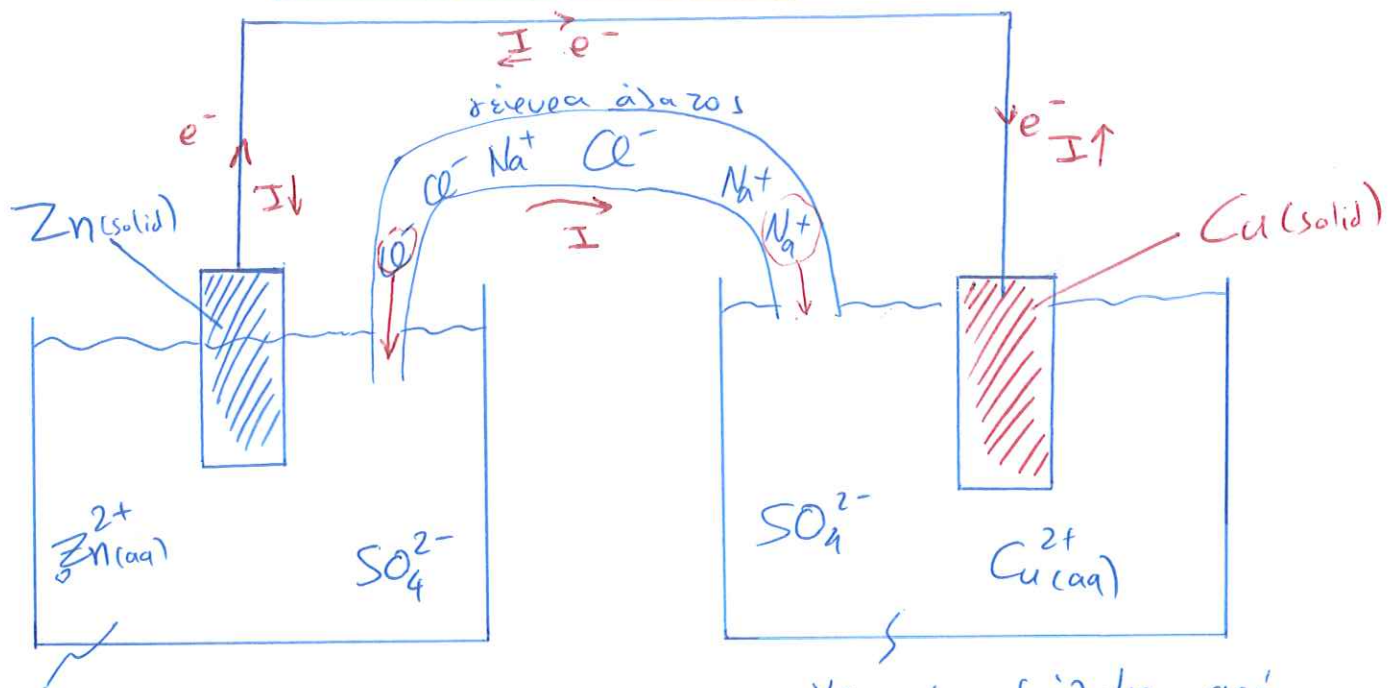
Ο φωσφόρος Zn δίνει να δώσει  $2e^{-}$ , γιατί είναι πιο παθητός ενεργειακά και στη διαδικασία "δίνει"  $E^{\circ} = 0.76\text{V}$

Ο χαλκός  $\text{Cu}^{2+}$  δίνει να πάρει  $2e^{-}$ , γιατί είναι πιο παθητός ενεργειακά και στη διαδικασία "δίνει"  $E^{\circ} = 0.34\text{V}$

Εάν με κάποιο τρόπο επικοινωνήσω θα έχουμε δημιουργήσει ένα  $E = \Delta V = 0.76 + 0.34 = 1.1\text{V}$ .

Αυτή η διαφορά δυναμικού είναι που χρειάζεται στη Ηλεκτροδυναμική ως





Υδατικό διάλυμα από  
φωσφορικό διαλυμένο τε  
 $H_2SO_4 \sim$  θειικό οξύ  
( $SO_4^{2-}$ )

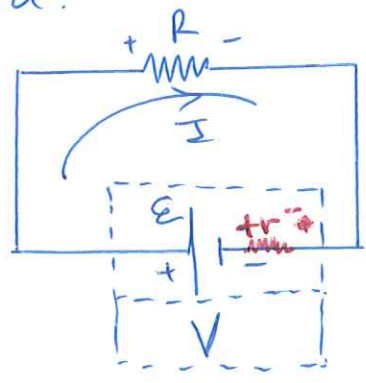
Υδατικό διάλυμα από  
χαλκό διαλυμένο σε  
 $H_2SO_4$  ( $SO_4^{2-}$ )  $\sim$  θειικό οξύ

Η διαδικασία έχει ως εξής:

- $e^-$  φεύγουν από αιώνα ( $Zn_{(solid)} \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$ ) και ηυδαίνων  
δεξιά.
- Τα  $e^-$  σπαστάνε τα ιόντα χαλκού και δίνω ( $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu_{(solid)}$ )
- Αρχικά το διάλυμα ήταν ουδέτερο και αφού φύγω  $e^-$  γίνεται  
φορτισμένο θετικά. Εξεί χρειάζεται μια γέφυρα άλατος  
(π.χ. ιόντα  $Cl^-$ ,  $Na^+$ ) για να εξισορροπήσω τα φορτία
- Ιόντα  $Cl^-$  πάνε αιώνα και αντιστοίχα ιόντα  $Na^+$   
δεξιά. Αλλά τα φορτία είναι το ρεύμα που έχει μέσα  
ση λησतालία. Αποφανώς και για από το ρεύμα θα υπάρχει μια  
εμφάνιση αντιστοίχων

Αρα το "ασανσίρ" της μπαταρίας οφείλεται στην χημική ενέργεια από μια αντίδραση που γίνεται οξειδοαναγωγή.

➤ Σχόλιο: Η εοή του ερρίκτου μέρα αν μπαταρία έχει μια εσωτερική αντίσταση (τόντα κινύεται στο διάλυμα). Έτσι πολλές φορές χάνουμε σε μορφή εκκώφατος ου:

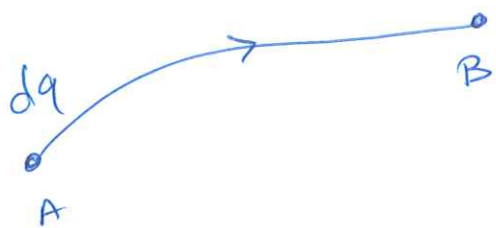


~ Πραγματική τιμή ΗΕΔ

$$E - IR - Ir = 0 \Rightarrow I = \frac{E}{R + r} ; r = \text{εσωτερική αντίσταση.}$$

Ο  $s$  ισχύς ορίζεται το έργο μιας δύναμης ανά μονάδα χρόνου. (Ρυθμός παραγωγής έργου).

Έτσι συν ηλεκτροστατική έχουμε για την μετακίνηση φορτίου  $dq$  εντός διαφοράς δυναμικού  $\Delta V$  το έργο:



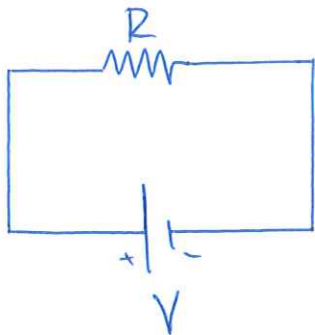
$$dW = dq \cdot \Delta V$$

$$\Rightarrow \frac{dW}{dt} = \frac{dq}{dt} \cdot \Delta V$$

$$\Rightarrow P = I \cdot \Delta V$$

ή πιο απλά  $\boxed{P = V \cdot I}$

Εάν έχουμε ένα αντίωτικό που ισχύει ο νόμος του Ohm, τότε:



$$V = I \cdot R, \text{ οπότε:}$$

$$\boxed{P = V \cdot I = I^2 R = \frac{V^2}{R}}$$

~~SOS~~ Η <sup>(ισχύς)</sup> ενέργεια <sup>ως ποσότητα</sup> καταναλώνεται συν αντιστοιχεί με θερμότητα.