



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών

# Φυσική III

Ενότητα 4: Ηλεκτρικά Κυκλώματα

Γεώργιος Βούλγαρης  
Σχολή Θετικών Επιστημών  
Τμήμα Φυσικής

# Ασκήσεις ΦΙΙ

Γ. Βούλγαρης



# Ταχύτητα ολίσθησης σε σύρμα από χαλκό.

Διάμετρος  $\delta=1,6$  mm

Ρεύμα 10 A

Πυκνότητα  $d=8,9$  gr/cm<sup>3</sup>

1 mol Cu 64 g

1 e/άτομο

•Υπολογίζω αριθμό ηλεκτρονίων /cm<sup>3</sup>  $n$

$$n = \frac{8,9 \text{ gr / cm}^3 \times 6,0 \times 10^{23} / \text{mol}}{64 \text{ g / mol}} =$$

$$= 8,4 \times 10^{22} \text{ e / cm}^3$$



- Υπολογίζω την πυκνότητα ρεύματος  $J$

$$I = \frac{q}{\Delta t} = \frac{n A l e}{l / v_d} = n A e v_d$$

$$J = \frac{I}{A} = n e v_d$$

$$J = \frac{10}{3,45 \cdot (0,8)^2} = 5 \text{ A / m m}^2$$

- Ταχύτητα Ολίσθησης

$$j = n e v_d \Rightarrow v_d = \frac{j}{n e}$$

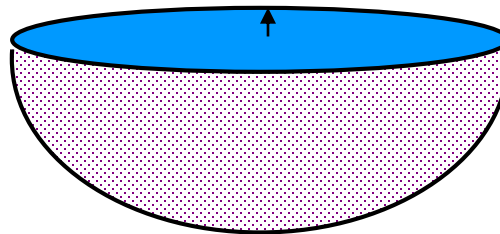
$$\Rightarrow v_d = 0,37 \cdot 10^{-3} \text{ m / s}$$

---



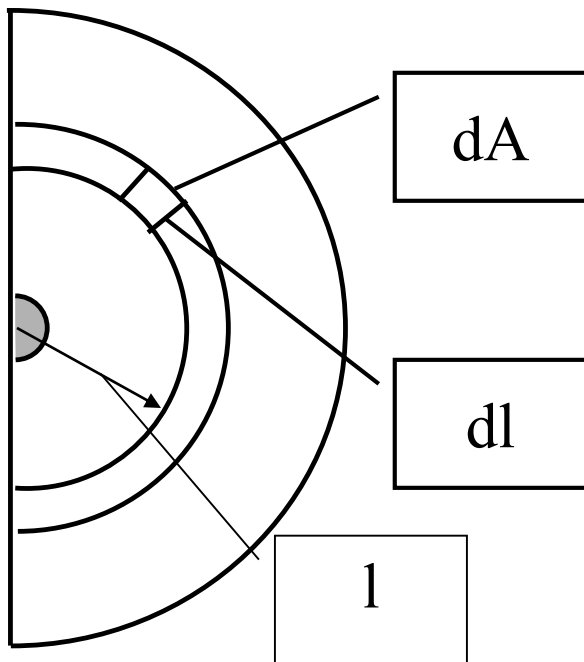
# Αγωγιμότητα θαλασσινού νερού

- Ημισφαιρική μεταλλική λεκάνη, ακτίνα  $b=2\text{m}$
- Θαλασσινό νερό ειδική αγωγιμότητα  $\sigma=4\Omega^{-1}\text{m}^{-1}$
- Σφαίρα μεταλλική ακτίνα  $a=30\text{cm}$
- Υπολογίστε την αντίσταση μεταξύ Σφαίρας -Λεκάνης



• Υπολογίζω την αγωγιμότητα ενός φλοιού.

• Αθροίζω τις αντιστάσεις όλων των φλοιών.



$$dV = dA \cdot dl$$

$$G = \sigma \frac{dA}{dl}$$

$$G_{\phi\lambda} = \sum G_i = \sigma \frac{A}{dl} = \sigma \frac{2\pi l^2}{dl}$$

$$\Rightarrow R_{\phi\lambda} = \frac{dl}{2\pi\sigma l^2}$$

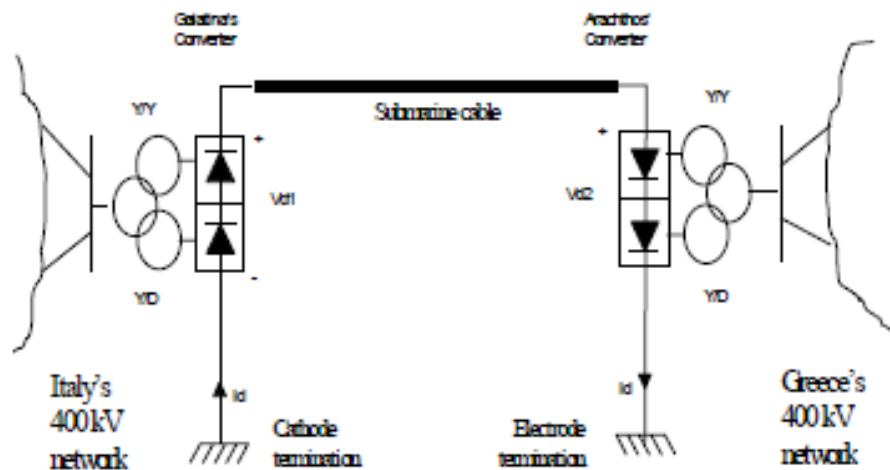
$$R_{o\lambda} = \sum R_i$$

$$\Rightarrow R_{o\lambda} = \int dR = \frac{1}{2\pi\sigma} \int_a^b \frac{dl}{l^2} = \frac{1}{2\pi\sigma} \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right)$$

$$R_{o\lambda} = \frac{1}{6,28 \times 4} \left( \frac{1}{0,3} - \frac{1}{2} \right) = 0,113 \Omega$$

$$R_{o\lambda} \xrightarrow{b \rightarrow \infty} 0,133 \Omega$$

# Εφαρμογή για Μεταφορά Ηλεκτρικής Ισχύος



# Αγωγιμότητα Ημιαγωγού

Ημιαγωγός έχει:

Πυκνότητα Ηλεκτρονίων, Οπών:  $n_h = n_e = 3,1 \cdot 10^{19} / \text{m}^3$  Κινητικότητα  
Ηλεκτρονίων, Οπών:  $\mu_e = 0,5$   $\mu_h = 0,04 \text{ m}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$

$$\sigma = \sigma_e + \sigma_h = \mu_e \rho_e + \mu_h \rho_h$$

$$\sigma_e = \mu_e n_e e \quad \sigma_h = \mu_h n_h e$$

$$\sigma_e = 0,5 \cdot 3,1 \cdot 10^{19} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 2,48 \quad \Omega^{-1} \text{m}^{-1}$$

$$\sigma_h = 0,04 \cdot 3,1 \cdot 10^{19} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 0,2 \quad \Omega^{-1} \text{m}^{-1}$$

$$\sigma = 2,68 \Omega^{-1} \text{m}^{-1}$$





# Ηλεκτρικό Πεδίο σε Αγωγό

**Σύγκριση με Ηλεκτροστατικό Πεδίο**

Ο αγωγός στο προηγούμενο πρόβλημα, αποτελεί τον κεντρικό αγωγό ομοαξονικού καλωδίου, με διάμετρο εξωτερικού αγωγού 1cm. Η τάση που εφαρμόζουμε στο ένα άκρο, ανάμεσα στους αγωγούς, είναι 100 V.

• Υπολογίζω τη χωρητικότητα ανά μονάδα μήκους.

1cm

$$\frac{C}{L} = \frac{55,55}{\ln \frac{b}{a}} \quad pF / m$$

$$b = 10mm$$

$$a = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{1}{3,14}} = 0,56 \quad mm$$

$$\ln \frac{10}{0,56} = 3,06$$

$$\Rightarrow \frac{C}{L} = \frac{55,6}{3,06} = 18,17 \quad pF / m$$



- Υπολογίζω το φορτίο ανά μονάδα μήκους :

$$C = \frac{Q}{V} \Rightarrow Q = CV$$

$$Q = 18,2 \cdot 100 \cdot 10^{-12} = 1,82 \cdot 10^{-9} C$$

$$r = a \quad E 2\pi r = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$\Rightarrow E = \frac{Q}{2\pi a \epsilon_0} = \frac{1,82 \cdot 10^{-9}}{6,28 \cdot 0,56 \cdot 10^{-3} \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} =$$
$$= 58 \cdot 10^3 V / m$$

---



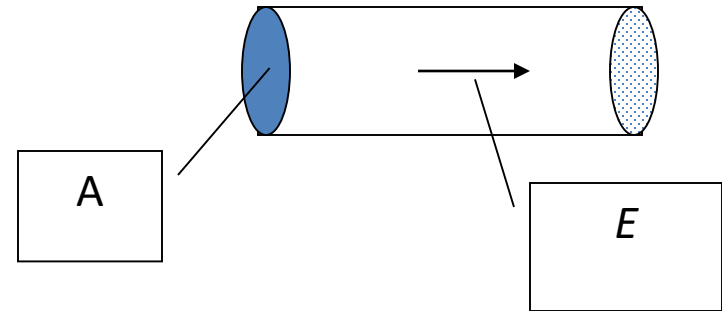
# Σύγκριση

- Τα πεδία στο εσωτερικό των αγωγών που διαρρέονται από ρεύμα είναι συνήθως μικρά. Η τιμή τους εξαρτάται από την αντίσταση ανά μονάδα μήκους του υλικού.
- Τα ηλεκτροστατικά πεδία είναι ισχυρότερα κατά τάξεις μεγέθους.



# Ηλεκτρικό Πεδίο κατά Μήκος Χάλκινου Αγωγού

Διατομή	$A = 1 \text{ mm}^2$
Ρεύμα	$I = 10 \text{ A}$
Ειδική αντίσταση	$s = 18 \cdot 10^{-9} \Omega \text{ m}$



Από το νόμο του Ohm για ένα

$$J = \sigma E$$

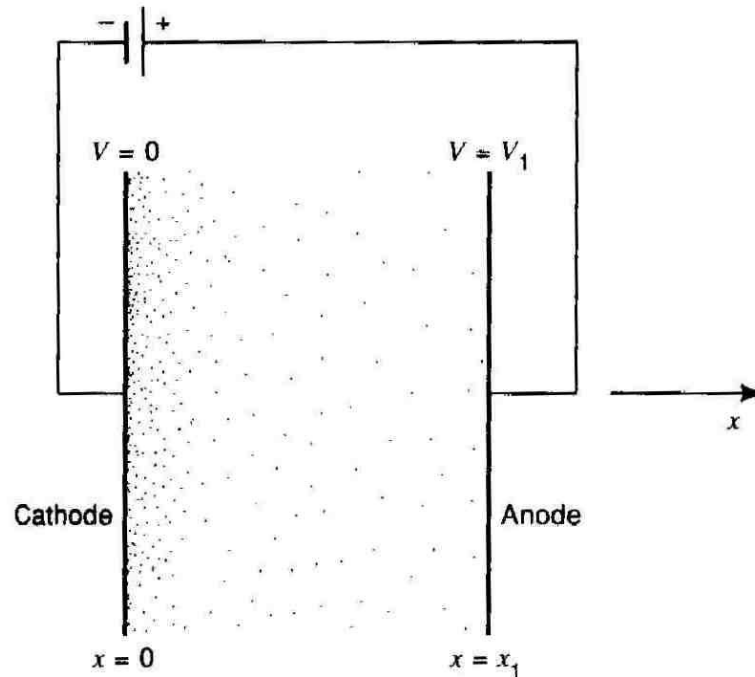
$$J = \frac{10}{10^{-6}} = 10^7 \text{ A/m}^2$$

$$\sigma = \frac{1}{s} = \frac{1}{18 \cdot 10^{-9}} = 55 \cdot 10^6 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$$

$$E = \frac{J}{\sigma} = \frac{10^7}{5,5 \cdot 10^7} = 0,18 \text{ V/m}$$

# Τάση, Πεδίο, Ρεύμα, σε Πυκνωτή με Φορτία.

## Λυχνία Κενού



(a)

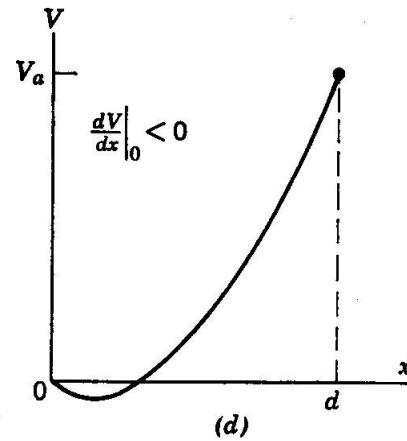
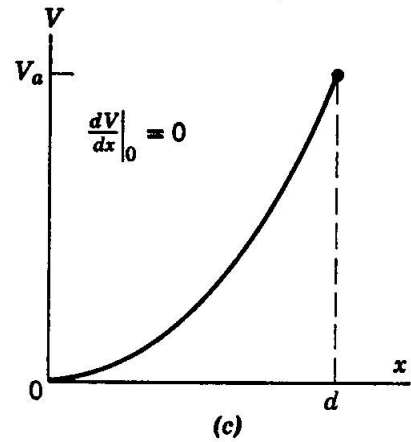
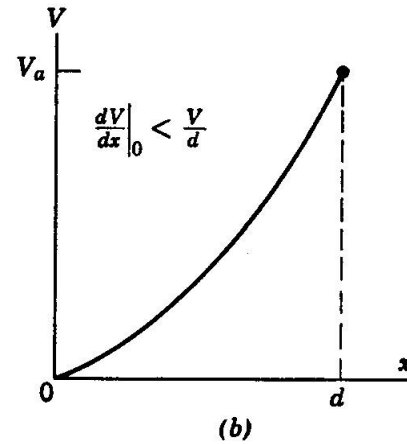
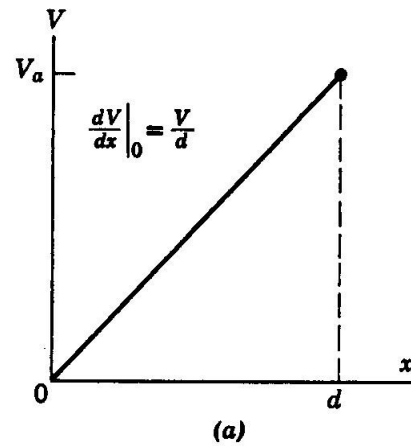
# Αρχή Λειτουργίας.

- Η Κάθοδος θερμαίνεται.
- Τα Ηλεκτρόνια της Καθόδου αποκτούν Κινητική Ενέργεια και βγαίνουν από την Κάθοδο.
- Η Άνοδος έλκει και επιταχύνει τα ηλεκτρόνια.
- Το Δυναμικό μεταξύ των πλακών εξαρτάται από την ροή των Ηλεκτρονίων.



# Καμπύλες Δυναμικού για διαφορετικές εκπομπές ηλεκτρονίων.

- Εξετάζουμε την περίπτωση c

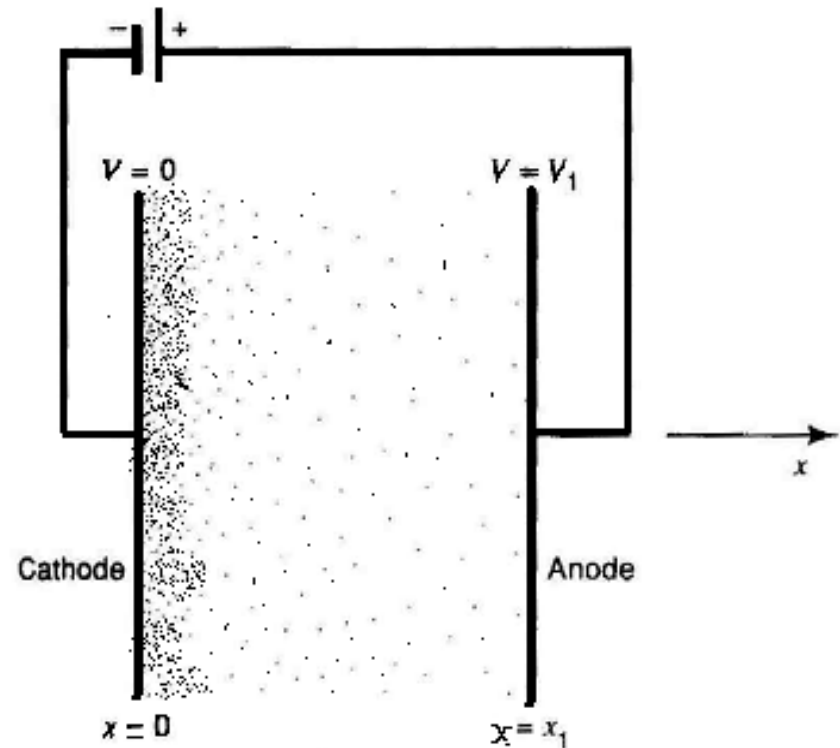




# Νόμος Child-Lagmuire.

$$V = V_A \left( \frac{x}{x_A} \right)^{\frac{4}{3}}$$

- Συνοριακές συνθήκες:
- $x=0 \quad V=0$
- $x=0 \quad E=0$
- $x=x_A \quad V=V_A$



## • Υπολογισμός Έντασης

$$V = V_A \left( \frac{x}{x_A} \right)^{\frac{4}{3}}$$

→

$$E(x) = -\frac{dV}{dx} = -\frac{4}{3} V_A \frac{x^{\frac{1}{3}}}{x_A^{\frac{4}{3}}}$$



## • Υπολογισμός Πυκνότητας Ηλεκτρονίων

$$\begin{aligned} \longrightarrow \frac{dE}{dx} = \frac{\rho}{\epsilon_0} &\Rightarrow \frac{\rho}{\epsilon_0} = -\frac{4}{3} \cdot \frac{1}{3} V_A \frac{x^{-\frac{2}{3}}}{x^{\frac{4}{3}}_A} \\ &\Rightarrow \rho(x) = -\frac{4}{9} \epsilon_0 V_A \frac{x^{-\frac{2}{3}}}{x^{\frac{4}{3}}_A} \end{aligned}$$

## • Υπολογί

$$\longrightarrow J(x) = \rho \cdot v$$

$$\frac{1}{2} m v^2 = eV \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2e}{m}} V^{\frac{1}{2}}$$

## • Υπολογισμός Πυκνότητας Ρεύματος

$$\Rightarrow J(x) = -\frac{4}{9} \varepsilon_0 V_A \frac{x^{-\frac{2}{3}}}{x_A^{\frac{4}{3}}} \sqrt{\frac{2e}{m}} V_A^{\frac{1}{3}} \left( \frac{x}{x_A} \right)^{\frac{2}{3}}$$

→

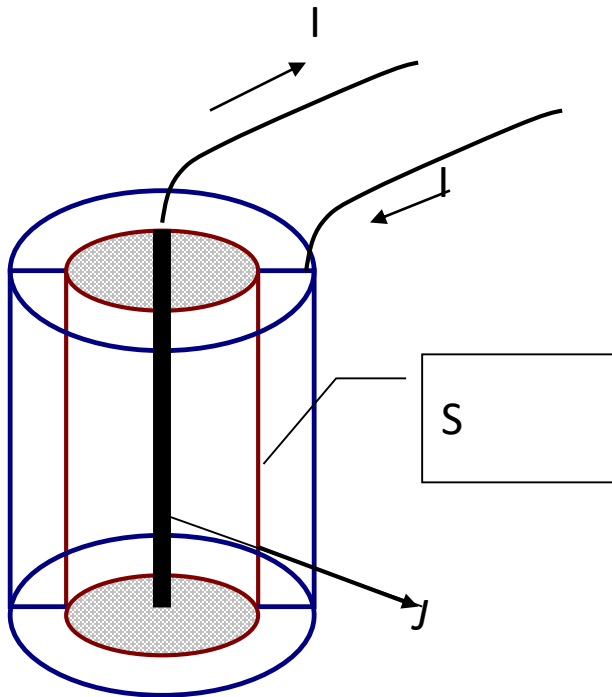
$$J(x) = -\frac{4}{9} \varepsilon_0 \sqrt{\frac{2e}{m}} V_A^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{1}{x_A^2}$$

$$J = -2,33 \cdot 10^{-6} \frac{V_A^{3/2}}{x_A^2} \text{ A/m}^2$$



Πυκνότητα ρεύματος

Ηλεκτρική Στήλη



- Έστω ότι το κύκλωμα λειτουργεί σε σταθερή κατάσταση.
- Θεωρώ ότι το ρεύμα που περνά από τις βάσεις είναι μικρό.

Ισχύει  $\sum I = 0$

Για την κυλινδρική επιφάνεια  $S$ :

$$\oint \vec{J} \cdot d\vec{S} = I$$

$$J = \frac{I}{2\pi r} \quad \vec{J} = \frac{I}{2\pi r} \hat{r}$$

Το  $J$  είναι κάθετο στην επιφάνεια  $S$  (ακτινικό)



Τέλος Ενότητας

# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.





Σημειώματα

# Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.0.



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών, Γεώργιος Βούλγαρης, 2015. Γεώργιος Βούλγαρης. «Φυσική ΙΙΙ. Ηλεκτρικά κυκλώματα». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://opencourses.uoa.gr/courses/PHYS14/>



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

