



Εικόνα: Όλες οι παραπάνω συσκευές είναι πυκνωτές, οι οποίοι αποθηκεύουν ηλεκτρικό φορτίο και ενέργεια. Ο πυκνωτής είναι ένα είδος κυκλώματος που μπορούμε να συνδυάσουμε με άλλα για να φτιάξουμε ηλεκτρικά κυκλώματα.

Φυσική για Μηχανικούς

Χωρητικότητα



Εικόνα: Όλες οι παραπάνω συσκευές είναι πυκνωτές, οι οποίοι αποθηκεύουν ηλεκτρικό φορτίο και ενέργεια. Ο πυκνωτής είναι ένα είδος κυκλώματος που μπορούμε να συνδυάσουμε με άλλα για να φτιάξουμε ηλεκτρικά κυκλώματα.

Φυσική για Μηχανικούς

Χωρητικότητα

Χωρητικότητα

◉ Εισαγωγή

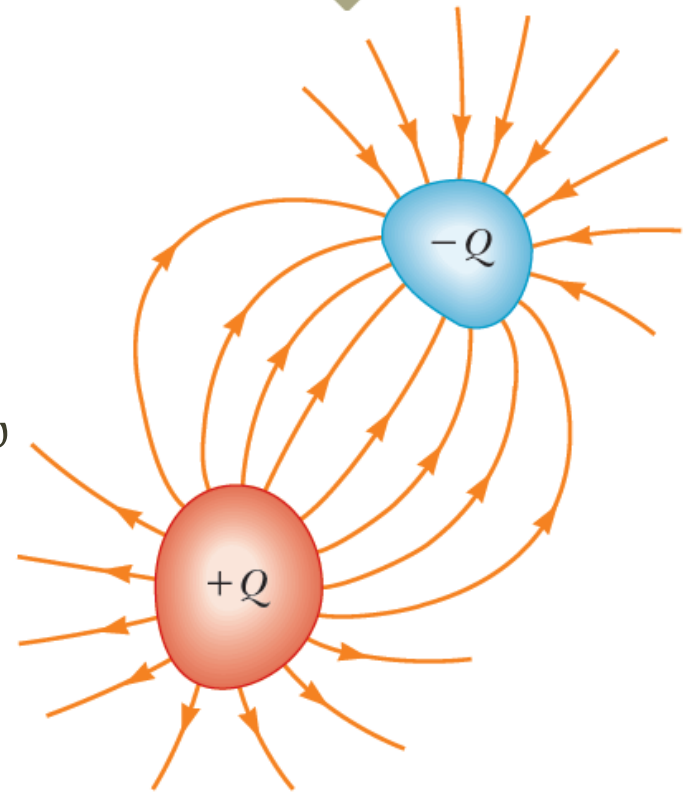
- ◉ Σε αυτή τη διάλεξη θα μιλήσουμε για το πρώτο από τα τρία βασικά συστατικά των ηλεκτρικών κυκλωμάτων
- ◉ Τον πυκνωτή!
 - ◉ Οι πυκνωτές είναι διατάξεις που αποθηκεύουν ηλεκτρικό φορτίο
 - ◉ Πυκνωτές χρησιμοποιούνται
 - ◉ για την επιλογή συχνότητας στο ραδιόφωνό σας
 - ◉ ως φίλτρα σε παροχές ρεύματος
 - ◉ για αποτροπή σπινθών σε συστήματα ανάφλεξης
 - ◉ για αποθήκευση ενέργειας σε «φλασάκια» (flash disks)

Χωρητικότητα

● Χωρητικότητα

- Έστω δυο αγωγοί όπως στο σχήμα
- Αυτή η διάταξη ονομάζεται **πυκνωτής**
 - Οι αγωγοί λέγονται **αγώγιμες πλάκες**
 - Αν οι αγωγοί φέρουν φορτίο ίδιου μέτρου και αντίθετου προσήμου, τότε αναπτύσσεται διαφορά δυναμικού ανάμεσά τους
- Τι καθορίζει πόσο φορτίο μπορούν να φέρουν;

Όταν ο πυκνωτής είναι φορτισμένος, οι αγωγοί φέρουν φορτίο ίδιου μέτρου και αντίθετου προσήμου.



Χωρητικότητα

• Χωρητικότητα

- Πειραματικά, έχειδειχθεί ότι η ποσότητα φορτίου Q σε έναν πυκνωτή είναι γραμμικά ανάλογη με τη διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους αγωγούς
 - Δηλ. $Q \propto \Delta V$
- Η σταθερά αναλογίας εξαρτάται από το σχήμα και την απόσταση των αγωγών
- Η σχέση αυτή μπορεί να γραφεί ως $Q = C\Delta V$, αν ορίσουμε τη χωρητικότητα ως:
 - Η **χωρητικότητα C** ενός πυκνωτή ορίζεται ως ο λόγος του μέτρου του φορτίου σε οποιονδήποτε αγωγό προς το μέτρο της διαφοράς δυναμικού ανάμεσά τους:

$$C \equiv \frac{|Q|}{|\Delta V|}$$

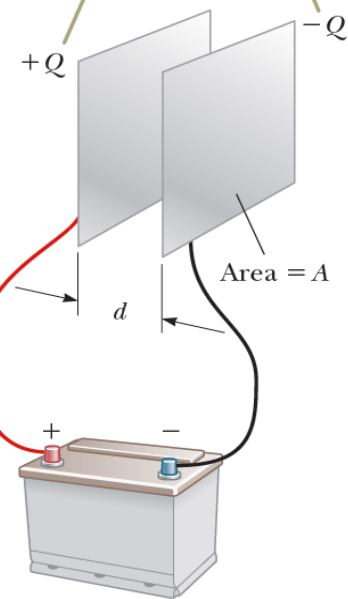
Μονάδα μέτρησης: $1 \text{ C/V} = 1 \text{ Farad (F)}$

Χωρητικότητα

• Χωρητικότητα

- Ας θεωρήσουμε έναν πυκνωτή από δυο παράλληλες πλάκες
- Αν είναι αρχικά αφόρτιστος, η μπαταρία δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο στα καλώδια
- Ας δούμε την «αρνητική» πλάκα
 - Το πεδίο στο καλώδιο εφαρμόζει δύναμη στα ηλεκτρόνια του και αυτά κινούνται προς την πλάκα
 - Η κίνηση συνεχίζεται ως ότου η πλάκα, το καλώδιο, και ο αρνητικός πόλος της μπαταρίας έχουν όλα το ίδιο ηλεκτρικό δυναμικό
 - Όταν αυτό γίνει, η διαφορά δυναμικού παύει να υπάρχει
 - Έτσι, δεν υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο στο καλώδιο και τα ηλεκτρόνια δεν κινούνται
 - Η πλάκα φέρει πλέον αρνητικό φορτίο
- Όμοια ισχύουν και για τη «θετική» πλάκα
 - ...μόνο που εκεί τα ηλεκτρόνια κινούνται από την πλάκα στο καλώδιο
 - ...αφήνοντάς τη φορτισμένη θετικά

Όταν ο πυκνωτής συνδεθεί με τους πόλους μιας μπαταρίας, ηλεκτρόνια μεταφέρονται ανάμεσα στις πλάκες και στα καλώδια, ώστε οι πλάκες να φορτιστούν.



Χωρητικότητα

● Χωρητικότητα

- Ας βρούμε μια έκφραση για τη χωρητικότητα ενός ζεύγους πλακών φορτίου μέτρου Q
- Η διαδικασία είναι εν γένει η εξής:
 - 1. Υπολογίζουμε τη διαφορά δυναμικού μεταξύ των πλακών
 - 2. Βρίσκουμε τη χωρητικότητα με τη σχέση $C = Q/\Delta V$
- Ο υπολογισμός είναι απλός αν η γεωμετρία του πυκνωτή είναι απλή

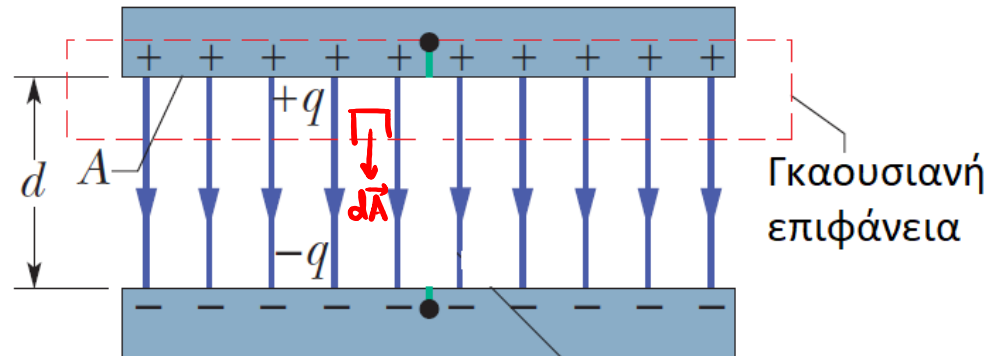
Χωρητικότητα

• Χωρητικότητα

- Έστω ότι οι πλάκες έχουν απόσταση d και εμβαδόν A , η μια πλάκα φέρει φορτίο Q ενώ η άλλη φορτίο $-Q$
- Η επιφανειακή πυκνότητα φορτίου είναι $\sigma = Q/A$
- Αν οι πλάκες είναι πολύ κοντά μεταξύ τους, μπορούμε να θεωρήσουμε ως **ομογενές** το ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ τους
- Για το φορτίο Q , θεωρούμε γκαουσιανή επιφάνεια στην οποία:
 - Τα διανύσματα $\vec{E}$ και $d\vec{A}$ είναι παράλληλα μεταξύ τους
 - Το πεδίο είναι **σταθερό**
 - Νόμος Gauss:

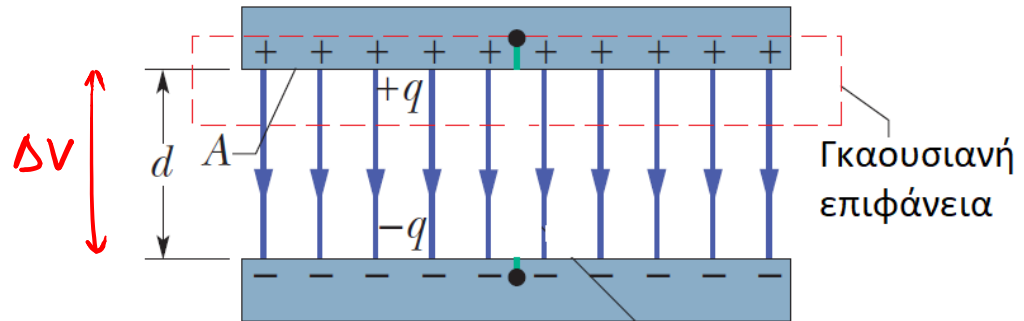
$$\Phi_E = \int \vec{E} \cdot d\vec{A} = EA$$

$$EA = \frac{Q}{\epsilon_0} \Rightarrow Q = EA\epsilon_0$$



Χωρητικότητα

- Χωρητικότητα



- Η διαφορά δυναμικού είναι

$$\Delta V = -Ed$$

λόγω ομογενούς ηλεκτρικού πεδίου

- Έχει αποδειχθεί σε προηγούμενη διάλεξη
- Άρα η χωρητικότητα ενός πυκνωτή παράλληλων πλακών δίνεται ως

$$C = \frac{|Q|}{|\Delta V|} = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

Χωρητικότητα

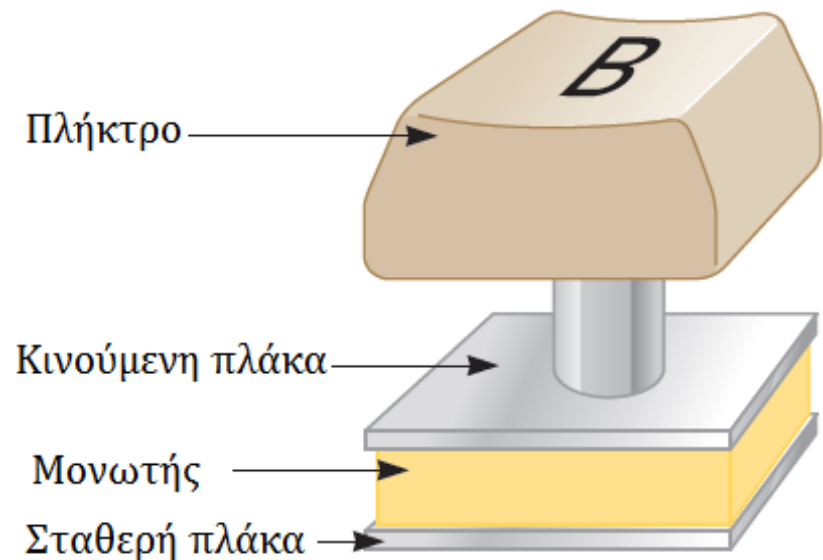
- Χωρητικότητα

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

- Χωρητικότητα

- Ανάλογη του εμβαδού των πλακών
- Αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης μεταξύ τους

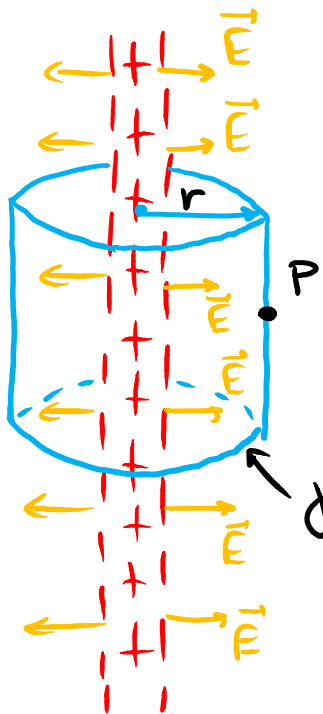
- Παράδειγμα εφαρμογής:



Χωρητικότητα

◉ Παράδειγμα:

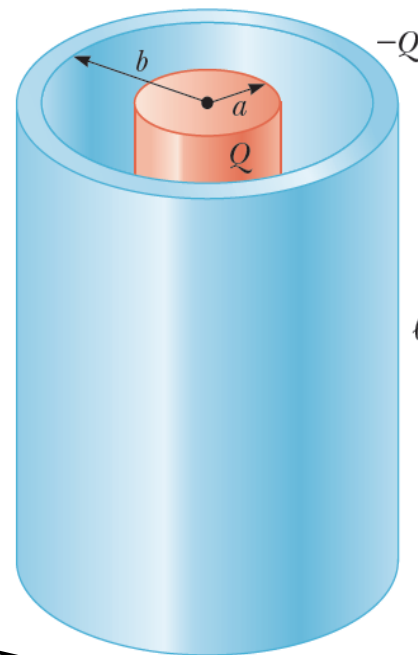
- ◉ Ένας στέρεος κυλινδρικός αγωγός ακτίνας a και φορτίου Q είναι ομοαξονικός με κυλινδρικό κέλυφος αμελητέου πάχους, ακτίνας $b > a$, και φορτίου $-Q$. Βρείτε τη χωρητικότητά αυτού του κυλινδρικού πυκνωτή αν το μήκος του είναι l .



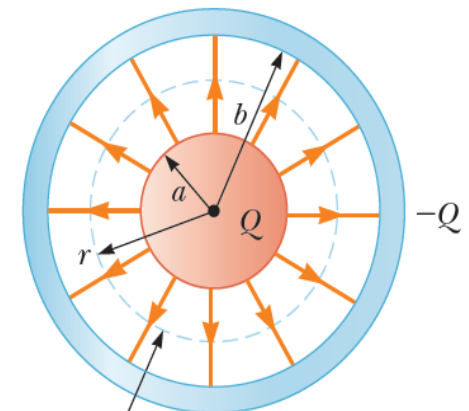
$$E_p = 2k_e \frac{\lambda}{r}$$

(από διαιρέσεις
νόμου Gauss)

Γκαουσιανή
επιφάνεια



Έστω $l \gg a, b$



Γκαουσιανή επιφάνεια

a

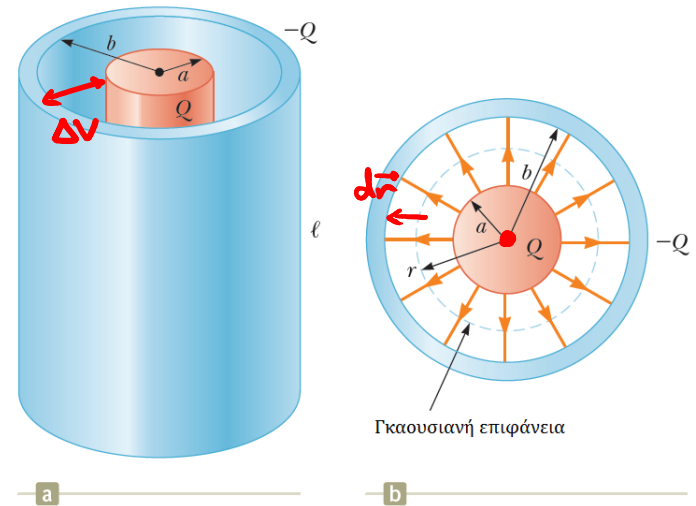
b

$$* \lambda_{\text{ρα}} C = \frac{|Q|}{|\Delta V|} = \frac{Q}{2k_e \lambda \ln\left(\frac{b}{a}\right)} = \frac{\ell}{2k_e \ln\left(\frac{b}{a}\right)}$$

Χωρητικότητα

● Παράδειγμα - Λύση:

- Ένας στέρεος κυλινδρικός αγωγός ακτίνας a και φορτίου Q είναι ομοαξονικός με κυλινδρικό κέλυφος αμελητέου πάχους, ακτίνας $b > a$, και φορτίου $-Q$. Βρείτε τη χωρητικότητά αυτού του κυλινδρικού πυκνωτή αν το μήκος του είναι ℓ .



Έχουμε δείξει σε προηγ. διάλεξη ότι το ηλ. πεδίο μιας φορτισμένης ράβδου άπειρου μήκους σε απόσταση r είναι: $E_r = \frac{2k_e \lambda}{r}$, επιλέγοντας γκαουσιανή επιφάνεια ακτίνας r . Χρειαζόμαστε τη διαφορά δυναμικού $\Delta V = V_b - V_a$. Είναι:

$$\begin{aligned} \Delta V &= - \int \vec{E} \cdot d\vec{s} = - \int \vec{E}_r \cdot d\vec{r} = - \int_a^b \frac{2k_e \lambda}{r} dr = - 2k_e \lambda \int_a^b \frac{1}{r} dr \\ &= - 2k_e \lambda \ln(r) \Big|_a^b = - 2k_e \lambda \ln\left(\frac{b}{a}\right) \Rightarrow |\Delta V| = 2k_e \lambda \ln\left(\frac{b}{a}\right) * \end{aligned}$$

Χωρητικότητα

• Συνδυασμοί Πυκνωτών

• Συμβολισμοί

Σύμβολο
πυκνωτή



Σύμβολο
μπαταρίας



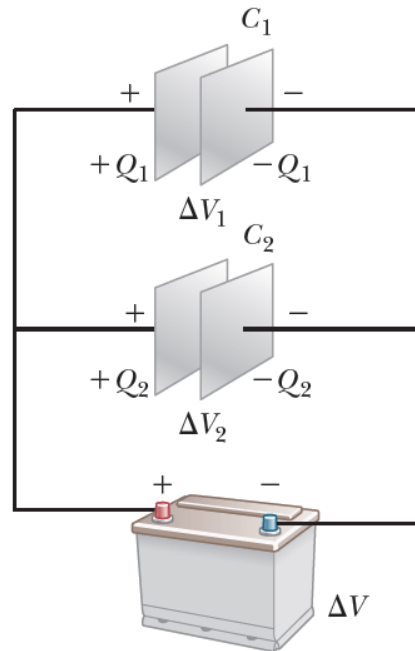
Σύμβολο
διακόπτη



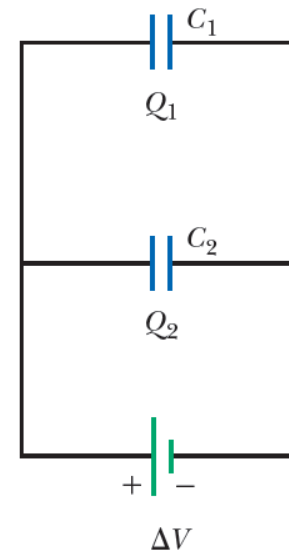
Ανοιχτό



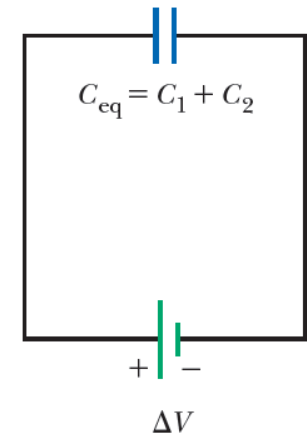
Κλειστό



a



b



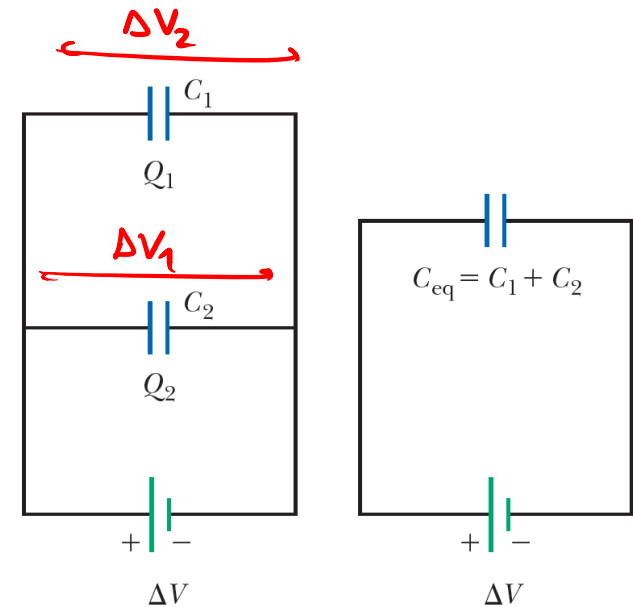
c

Χωρητικότητα

• Συνδυασμοί Πυκνωτών

- Η διαφοράς δυναμικού μεταξύ πυκνωτών συνδεδεμένων παράλληλα είναι η ίδια και ίση με ΔV
 - Δηλ. $\Delta V_1 = \Delta V_2 = \Delta V$
 - Οι πυκνωτές αποκτούν φορτίο $Q_1 = C_1 \Delta V, Q_2 = C_2 \Delta V$
 - Το συνολικό φορτίο είναι $Q_{tot} = Q_1 + Q_2 = C_1 \Delta V + C_2 \Delta V = (C_1 + C_2) \Delta V$
 - Άρα οι δυο πυκνωτές μπορούν να αντικατασταθούν από έναν, με χωρητικότητα $C_{eq} = C_1 + C_2$
- Γενικότερα: παράλληλη σύνδεση πυκνωτών

$$C_{eq} = \sum_{i=1}^N C_i$$



Χωρητικότητα

◉ Συνδυασμοί Πυκνωτών

- ◉ Η διαφοράς δυναμικού μεταξύ πυκνωτών συνδεδεμένων σε σειρά είναι διαφορετικές
- ◉ Η αριστερή πλάκα του C_1 και η δεξιά πλάκα του C_2 είναι συνδεδεμένες με την πηγή
- ◉ Οι άλλες δυο πλάκες είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους μόνο
 - ◉ Το συνολικό τους φορτίο είναι μηδέν, και πρέπει να παραμείνει τόσο, εφόσον αποτελούν απομονωμένο σύστημα!
- ◉ Ας θεωρήσουμε αρχικά αφόρτιστους πυκνωτές
 - ◉ Όταν συνδέσουμε την μπαταρία, μεταφέρονται ηλεκτρόνια από την αριστερή πλάκα του C_1 στη δεξιά πλάκα του C_2
 - ◉ Ένα ισόποσο αρνητικό φορτίο εγκαταλείπει την αριστερή πλάκα του C_2 , και άρα αυτή έχει πλεόνασμα φορτίου (θετικού)
 - ◉ Το αρνητικό φορτίο που εγκαταλείπει την αριστερή πλάκα του C_2 προκαλεί συσσώρευση αρνητικού φορτίου στην δεξιά πλάκα του C_1
- ◉ Έτσι, και οι δυο πυκνωτές έχουν δεξιές πλάκες με φορτίο $-Q$ και αριστερές πλάκες με φορτίο $+Q$

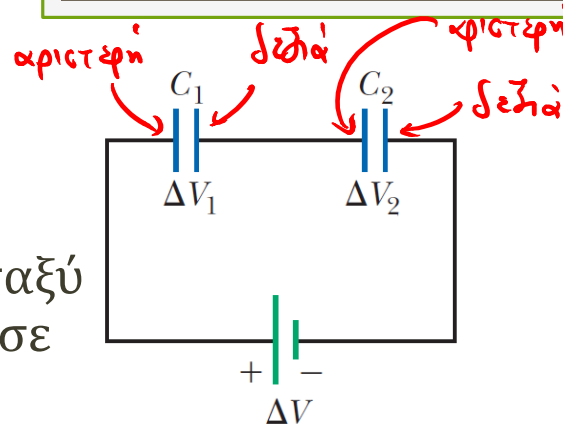


Diagram illustrating the equivalent circuit for two capacitors in series, showing the formula for the equivalent capacitance C_{eq} :

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

Χωρητικότητα

- **Συνδυασμοί Πυκνωτών**

- Άρα το φορτίο των δυο πυκνωτών σε σειρά είναι ίδιο, $Q_1 = Q_2 = Q$
- Προφανώς ισχύει $\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2$
- Όμως

$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2 = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2}$$

- Ας θεωρήσουμε έναν πυκνωτή που έχει την ίδια επίδραση στο κύκλωμα με τους δυο πυκνωτές

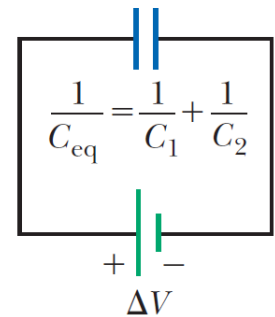
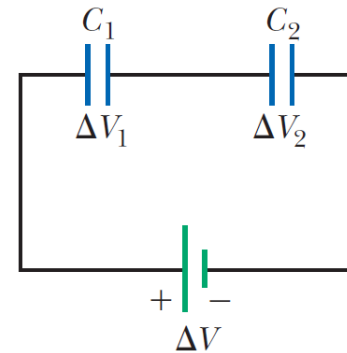
$$\Delta V = \frac{Q}{C_{eq}}$$

- Τότε

$$\frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} = \frac{Q}{C_{eq}} \Rightarrow \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{C_{eq}}$$

- Άρα γενικά

$$\frac{1}{C_{eq}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i}$$

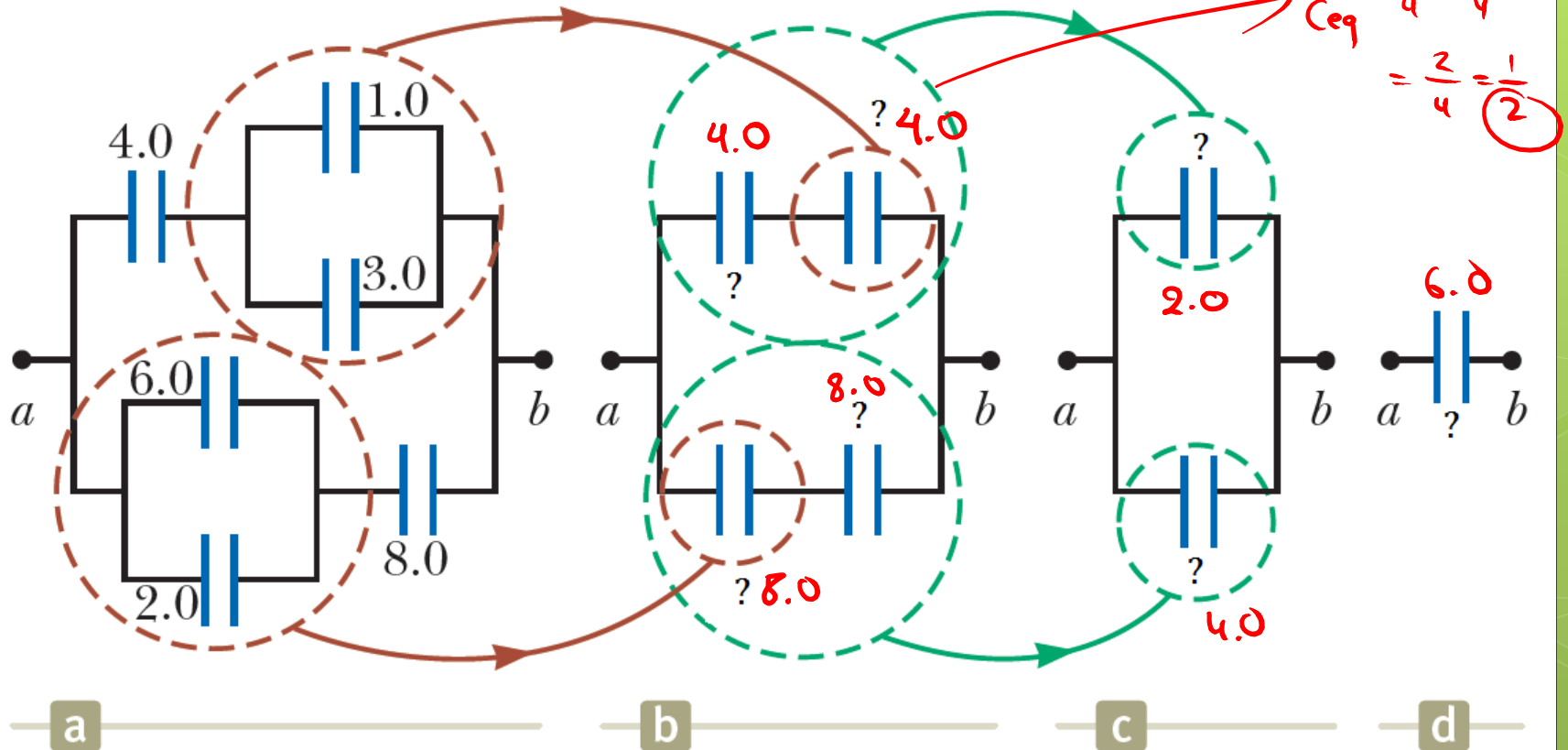


Χωρητικότητα

Παράδειγμα:

Σερί: $\frac{1}{C_{eq}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i}$

Παράλληλα: $C_{eq} = \sum_{i=1}^N C_i$



Χωρητικότητα

- **Ενέργεια αποθηκευμένη σε πυκνωτή**
 - Ας θεωρήσουμε μια υπεραπλουστευμένη, «μηχανική» διαδικασία φόρτισης ενός πυκνωτή
 - Ένα μικρό ποσό φορτίου μεταφέρεται από τη μια πλάκα μέσω δύναμης προς την άλλη πλάκα
 - Ασκείται έργο στο φορτίο
 - Δημιουργείται μια διαφορά δυναμικού (μικρή) ανάμεσα στις πλάκες
 - Όσο μεταφέρουμε φορτίο από τη μια πλάκα στην άλλη, τόσο μεγαλώνει η διαφορά δυναμικού
 - Περισσότερο έργο απαιτείται για τη μεταφορά μιας ποσότητας φορτίου
 - Το έργο που παράγεται στο σύστημα από την εξωτερική δύναμη εμφανίζεται ως μεταβολή της δυναμικής ενέργειας του συστήματος (διατήρηση της ενέργειας)

Χωρητικότητα

- **Ενέργεια αποθηκευμένη σε πυκνωτή**

- Ας υποθέσουμε ότι ο πυκνωτής έχει φορτίο q σε κάποιο στάδιο της διαδικασίας
 - Η διαφορά δυναμικού θα είναι $\Delta V = \frac{q}{C}$
- Το έργο που απαιτείται για τη μεταφορά ενός φορτίου dq από μια πλάκα φορτίου $-q$ σε αυτή φορτίου $+q$ είναι

$$dW = \Delta V dq = \frac{q}{C} dq$$

- Άρα το συνολικό έργο που απαιτείται για τη φόρτιση του πυκνωτή από μηδενικό φορτίο σε φορτίο Q είναι:

$$W = \int dW = \int_0^Q \frac{q}{C} dq = \frac{Q^2}{2C}$$

Χωρητικότητα

- **Ενέργεια αποθηκευμένη σε πυκνωτή**

- Το έργο που παράγεται κατά τη φόρτιση του πυκνωτή αποθηκεύεται ως ηλεκτρική δυναμική ενέργεια U_E και άρα

$$U_E = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2} Q \Delta V = \frac{1}{2} C (\Delta V)^2$$

- Θεωρούμε την ενέργεια σε έναν πυκνωτή ως αποθηκευμένη στο ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται ανάμεσα στις πλάκες του, όσο φορτίζεται

- Για έναν πυκνωτή από δυο παράλληλες πλάκες που απέχουν d , είναι

$$U_E = \frac{1}{2} \left(\overset{C}{\frac{\epsilon_0 A}{d}} \right) (\overset{\Delta V}{Ed})^2 = \frac{1}{2} \epsilon_0 A d E^2$$



Εικόνα: Οι γραμμές ρεύματος μεταφέρουν ενέργεια από την ηλεκτρική εταιρία στα σπίτια και τις επιχειρήσεις μας. Η ενέργεια μεταφέρεται σε πολύ υψηλές τάσεις, πιθανότατα εκατοντάδων χιλιάδων volt. Αν και αυτό καθιστά της ηλεκτροφόρες γραμμές επικίνδυνες, η υψηλή τάση συνεισφέρει στη λιγότερη απώλεια ενέργειας λόγω αντιστάσεων των καλωδίων (Telegraph Colour Library/FPG)

Φυσική για Μηχανικούς

Ρεύμα και Αντίσταση



Εικόνα: Οι γραμμές ρεύματος μεταφέρουν ενέργεια από την ηλεκτρική εταιρία στα σπίτια και τις επιχειρήσεις μας. Η ενέργεια μεταφέρεται σε πολύ υψηλές τάσεις, πιθανότατα εκατοντάδων χιλιάδων volt. Αν και αυτό καθιστά της ηλεκτροφόρες γραμμές επικίνδυνες, η υψηλή τάση συνεισφέρει στη λιγότερη απώλεια ενέργειας λόγω αντιστάσεων των καλωδίων (Telegraph Colour Library/FPG)

Φυσική για Μηχανικούς

Ρεύμα και Αντίσταση

Ρεύμα και Αντίσταση

◉ Εισαγωγή

- ◉ Σε αυτή τη διάλεξη θα ασχοληθούμε με την *κίνηση* ηλεκτρικών φορτίων σε μια περιοχή του χώρου
 - ◉ Ως τώρα θεωρούσαμε τα φορτία στάσιμα!
- ◉ Θα μάθουμε τον όρο *ηλεκτρικό ρεύμα* (ή απλώς *ρεύμα*) για την περιγραφή του ρυθμού της ροής του φορτίου
- ◉ Επίσης, θα μιλήσουμε για την *ηλεκτρική αντίσταση*
- ◉ Θα εισάγουμε ένα νέο στοιχείο, τον *αντιστάτη*

Ρεύμα και Αντίσταση

◉ Ηλεκτρικό Ρεύμα

- ◉ Ας ξεκινήσουμε τη μελέτη της ροής ηλεκτρικού φορτίου σε ένα τμήμα υλικού
- ◉ Η ποσότητα της ροής εξαρτάται από
 - ◉ το είδος του υλικού
 - ◉ τη διαφορά δυναμικού κατά μήκος του υλικού
- ◉ Όταν έχουμε ροή ηλεκτρικού φορτίου μέσα από μια περιοχή, τότε λέμε ότι υπάρχει **ηλεκτρικό ρεύμα**
 - ◉ Σκεφτείτε αναλογίες με:
 - ◉ Ροή νερού, ροή ποταμού κλπ.

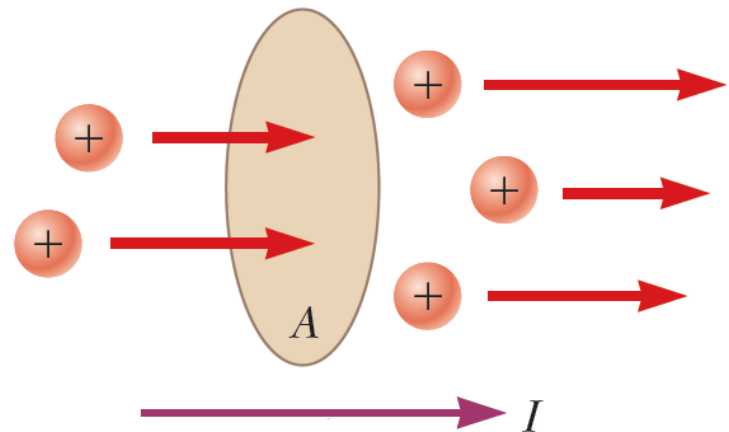
Ρεύμα και Αντίσταση

● Ηλεκτρικό Ρεύμα

● Ας ορίσουμε το ρεύμα ποσοτικά:

- Έστω μια ποσότητα φορτίου που κινείται κάθετα σε μια επιφάνεια εμβαδού A
- Το **ρεύμα** ορίζεται ως ο ρυθμός με τον οποίο το φορτίο ρέει μέσα από την επιφάνεια
- Αν η ποσότητα του φορτίου που περνάει από την επιφάνεια σε χρόνο Δt είναι ΔQ , τότε το **μέσο ρεύμα** ισούται με

$$I_{avg} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$



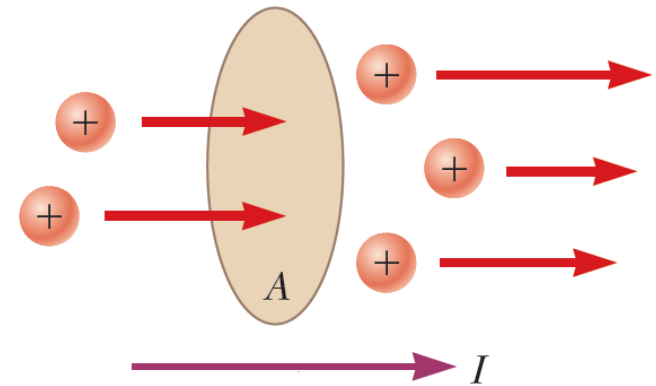
Ρεύμα και Αντίσταση

● Ηλεκτρικό Ρεύμα

- Το **στιγμιαίο ρεύμα** ορίζεται ως το όριο του μέσου ηλεκτρικού ρεύματος όταν $\Delta t \rightarrow 0$

$$I \equiv \frac{dQ}{dt}$$

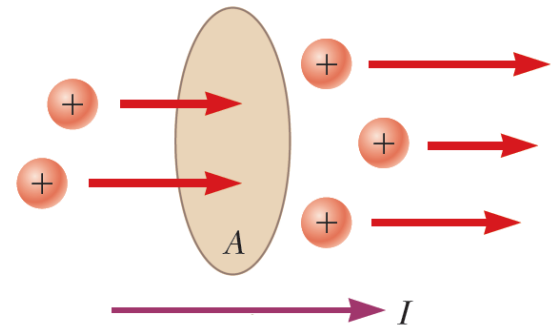
- Μονάδα μέτρηση τους ρεύματος: 1 Ampere (A)
 - Ισούται με 1 C/s
- Τα φορτισμένα σωματίδια που διαπερνούν μια επιφάνεια μπορεί να είναι θετικά, αρνητικά, ή και τα δυο
 - Έχει συμφωνηθεί να θεωρούμε ως κατεύθυνση του ρεύματος την κατεύθυνση των θετικών φορτίων
 - Δηλ. αντίθετη στην κίνηση των ηλεκτρονίων



Ρεύμα και Αντίσταση

● Ηλεκτρικό Ρεύμα

- Αν τα άκρα ενός αγωγίου καλωδίου ενωθούν σε ένα βρόχο, όλα τα σημεία του βρόχου έχουν το ίδιο ηλεκτρικό δυναμικό
 - Άρα το ηλεκτρικό πεδίο $\vec{E}$ είναι μηδέν
 - Άρα δεν υπάρχει ρεύμα
- Αν όμως τα άκρα του συνδεθούν σε μια μπαταρία (πηγή διαφοράς δυναμικού), δεν έχουν όλα τα σημεία του βρόχου το ίδιο δυναμικό!
 - Η μπαταρία εγκαθιστά διαφορά δυναμικού μεταξύ των άκρων του βρόχου
 - Δημιουργώντας ηλεκτρικό πεδίο μέσα στο καλώδιο
 - Το πεδίο προκαλεί ηλεκτρική δύναμη στα ηλεκτρόνια του καλωδίου, προκαλώντας την κίνησή τους
 - Δημιουργώντας έτσι το ηλεκτρικό ρεύμα!



Ρεύμα και Αντίσταση

● Ηλεκτρικό ρεύμα

- Ας ορίσουμε ως **πυκνότητα ρεύματος J** σε ένα καλώδιο ως το ρεύμα ανά μονάδα επιφάνειας

$$J = \frac{I}{A}$$

- Η πυκνότητα ρεύματος περιγράφει πως το φορτίο ρέει μέσα από κάθε κομμάτι ενός συγκεκριμένου είδους μετάλλου ως απάντηση στο ηλεκτρικό πεδίο E
 - Ισχύει μόνο για ομοιόμορφη πυκνότητα και για επιφάνεια A κάθετη στη διεύθυνση του ρεύματος
- Ας ορίσουμε ως **ειδική αγωγιμότητα σ** ενός υλικού μια σταθερά που περιγράφει την πυκνότητα ρεύματος J δεδομένης μιας τιμής ηλεκτρικού πεδίου E

Ρεύμα και Αντίσταση

- **Ηλεκτρικό ρεύμα**

- Σε μερικά υλικά (αρκετά, συμπεριλαμβανομένων και πολλών μετάλλων), η πυκνότητα ρεύματος είναι ανάλογη του μέτρου του ηλεκτρικού πεδίου

$$J = \sigma E$$

- Υλικά που ικανοποιούν την παραπάνω σχέση λέμε ότι ακολουθούν το **νόμο του Ohm**:
 - *Ο λόγος της πυκνότητας ρεύματος J προς το μέτρο του ηλεκτρικού πεδίου E είναι σταθερός και ίσος με σ , και ανεξάρτητος από το ηλεκτρικό πεδίο που παράγει το ρεύμα*

$$\sigma = \frac{J}{E}$$

- Ο νόμος του Ohm δεν είναι «νόμος» της Φύσης, αλλά μια εμπειρική σχέση που ισχύει μόνο σε ορισμένες περιπτώσεις
- Μπορούμε να λάβουμε όμως μια πιο χρήσιμη σχέση όπως θα δούμε στη συνέχεια...

Ρεύμα και Αντίσταση

- Ηλεκτρικό ρεύμα

- Ο νόμος του Ohm είναι μια σχέση με πολύ μεγάλη σημασία. Γιατί;

- Μας λέει **τρία** πράγματα:

1. Το ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργείται από ένα ηλεκτρικό πεδίο που ασκεί δυνάμεις στους φορείς φορτίου
2. Η πυκνότητα ρεύματος, και ως εκ τούτου το ρεύμα, εξαρτάται με γραμμικό τρόπο από το μέτρο του ηλεκτρικού πεδίου: $J = \sigma E$
3. Η πυκνότητα ρεύματος εξαρτάται και από την αγωγιμότητα του υλικού

Ρεύμα και Αντίσταση

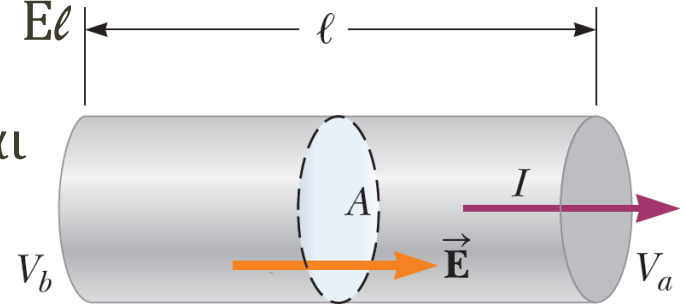
● Αντίσταση

- Ας θεωρήσουμε ένα καλώδιο με ομοιόμορφη επιφάνεια διατομής εμβαδού A και με μήκος ℓ
- Μια διαφορά δυναμικού ΔV δημιουργείται κατά μήκος του καλωδίου αν το συνδέσουμε με μια μπαταρία (π.χ.)
 - Δημιουργώντας έτσι εντός του καλωδίου ένα ηλεκτρικό πεδίο και ένα ρεύμα
- Αν υποθέσουμε ότι το πεδίο είναι ομογενές, το μέτρο της διαφοράς δυναμικού κατά μήκος του καλωδίου είναι

$$|\Delta V| = |V_b - V_a| = E\ell$$

- Έτσι, η πυκνότητα ρεύματος είναι

$$J = \sigma \frac{|\Delta V|}{\ell}$$



Ρεύμα και Αντίσταση

● Αντίσταση

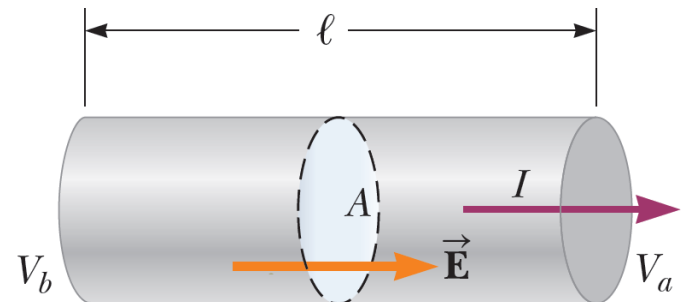
- Επειδή όμως $J = \frac{I}{A}$, η διαφορά δυναμικού είναι

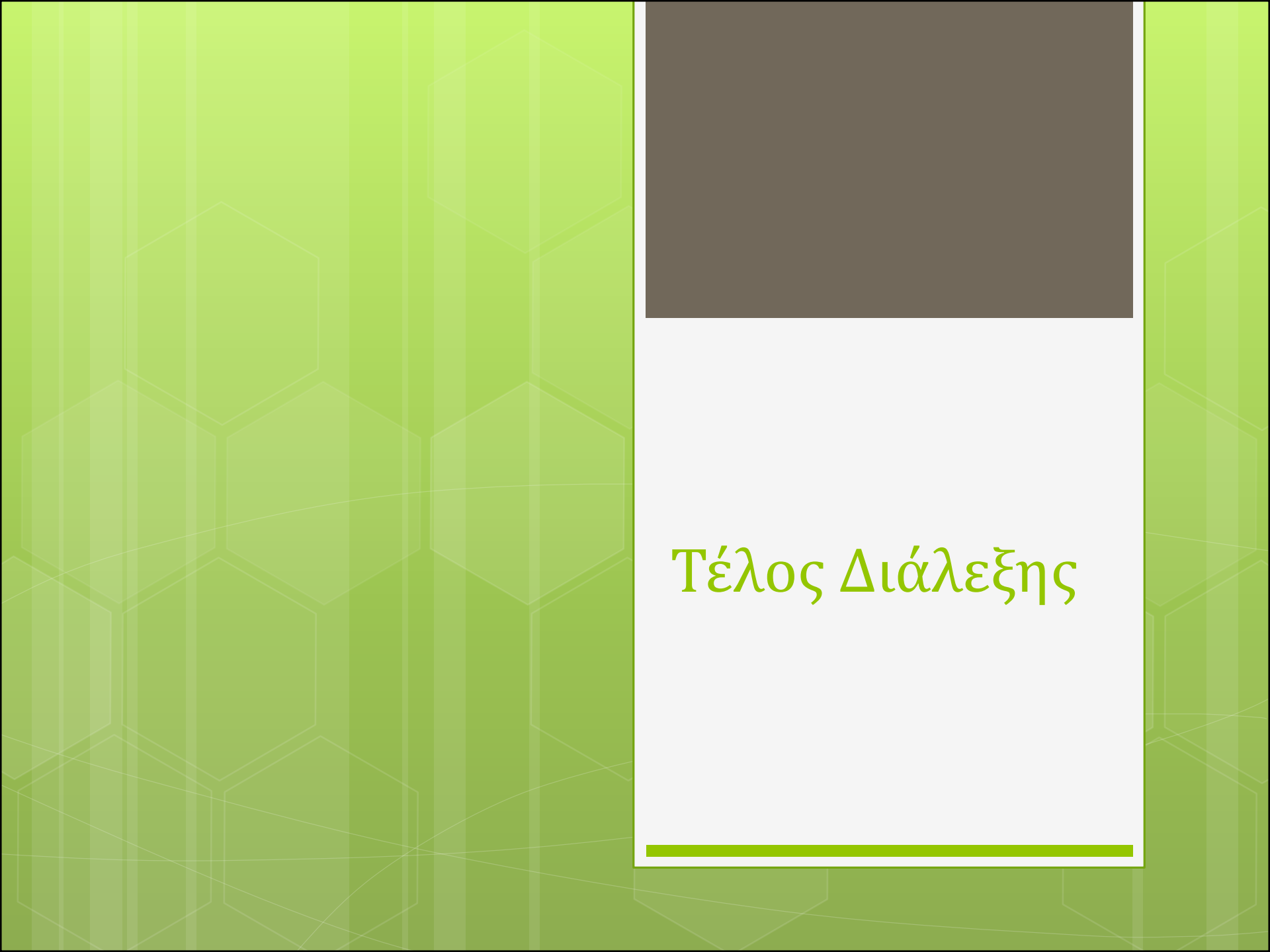
$$\Delta V = \frac{\ell}{\sigma} J = \frac{\ell}{\sigma A} I = RI$$

- Η ποσότητα $R = \frac{\ell}{\sigma A}$ ονομάζεται **αντίσταση** του αγωγού
- Ορίζουμε λοιπόν την **αντίσταση** ενός αγωγού ως το λόγο της διαφοράς δυναμικού προς το ρεύμα που τον διαρρέει

$$R \equiv \frac{\Delta V}{I}$$

- Μονάδα μέτρησης: 1 Ohm (Ω)





Τέλος Διάλεξης