

ΑΡΧΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Τσορμπατζόγλου Ανδρέας

Διηλεκτρική Μετατόπιση

Ένα μέγεθος που χρησιμοποιούμε συχνά για να απλοποιήσουμε τις εξισώσεις είναι η διηλεκτρική μετατόπιση. Ορίζεται ως:

$$\vec{D} = \epsilon_o \vec{E} + \vec{P} = \epsilon_o \vec{E} + \chi_e \vec{E} = \epsilon_o (1 + \chi_e) \vec{E} = \epsilon_o \epsilon_r \vec{E}$$

χ_e : ηλεκτρική
επιδεκτικότητα
 $\epsilon = \epsilon_o \epsilon_r$: διαπερατότητα
μέσου

Η διηλεκτρική μετατόπιση εκφράζει την ηλεκτρική ροή δια μέσου μιας επιφάνειας

Ηλεκτρική ροή
με την ένταση
του ηλεκτρικού
πεδίου

$$\Phi_E = \iint_S \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

$$N = \iint_S \vec{D} \cdot d\vec{S}$$

Ηλεκτρική ροή
με τη
διηλεκτρική
μετατόπιση

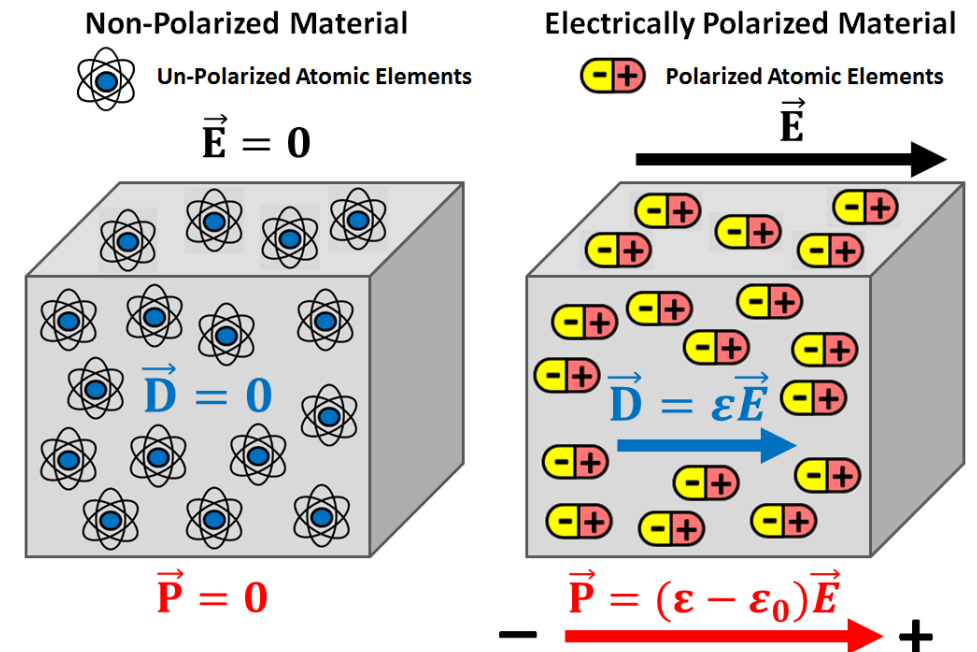
$$\oiint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon} \iiint_V \rho dV = \frac{Q}{\epsilon}$$

$$\oiint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = \iiint_V \rho dV = Q$$

Διηλεκτρικά υλικά - πόλωση

Ένα **διηλεκτρικό υλικό** (γενικός χαρακτηρισμός) είναι ένας **κακός αγωγός (μονωτής)** του ηλεκτρισμού αλλά με μεγάλη αντοχή στα ηλεκτροστατικά πεδία. Μπορεί να αποθηκεύσει ηλεκτρικά φορτία, να έχει υψηλή ειδική αντίσταση και αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες.

Η **πόλωση** \vec{P} είναι το διανυσματικό πεδίο που εκφράζει την πυκνότητα μόνιμων ή επαγόμενων ηλεκτρικών διπολικών ροπών σε ένα διηλεκτρικό υλικό. Όταν ένα διηλεκτρικό τοποθετείται σε ένα εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο, τα μόριά του αποκτούν ηλεκτρική διπολική ροπή και το διηλεκτρικό λέγεται ότι είναι πολωμένο. Η ηλεκτρική διπολική ροπή που προκαλείται ανά μονάδα όγκου του διηλεκτρικού υλικού ονομάζεται ηλεκτρική πόλωση του διηλεκτρικού



Ηλεκτροστατική ισορροπία

Αγωγοί : Επιτρέπουν τη ροή ρεύματος

Ημιαγωγοί : Επιτρέπουν τη ροή ρεύματος αν τους ασκηθεί ισχυρό πεδίο

Μονωτές : Δεν επιτρέπουν τη ροή ρεύματος

Όταν ένας αγωγός βρίσκεται σε ηλεκτροστατική ισορροπία το ηλεκτρικό πεδίο στο εσωτερικό του είναι ίσο με μηδέν

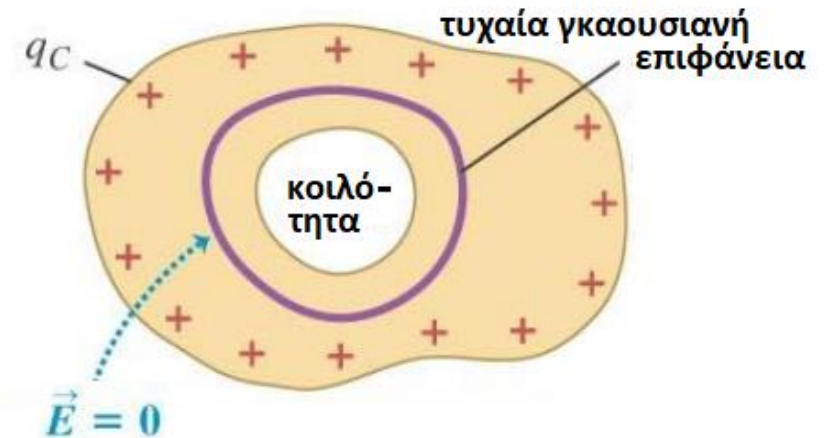
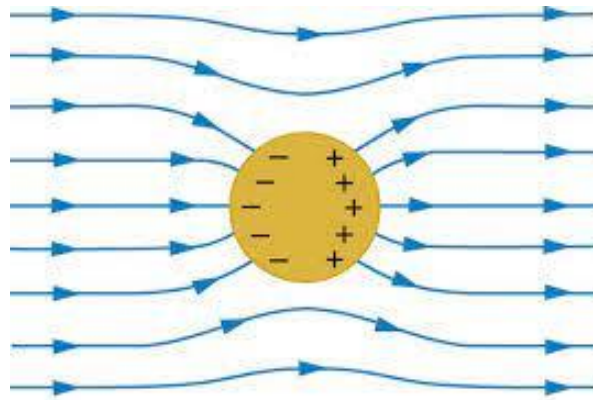
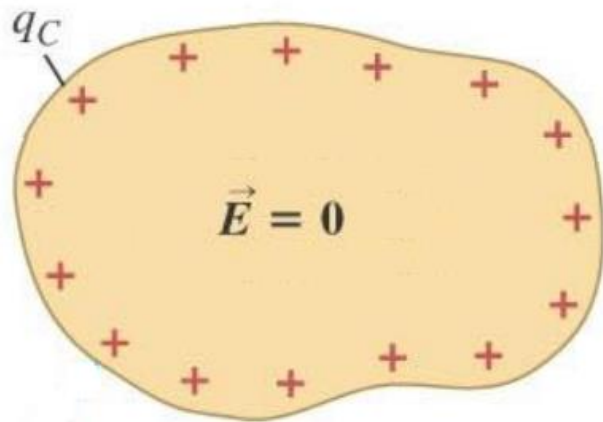
Από τον νόμο του Gauss προκύπτει ότι όταν ένας αγωγός βρίσκεται σε ηλεκτροστατική ισορροπία η πυκνότητα του φορτίου στο εσωτερικό του είναι ίση με μηδέν $\rho=0$.

$$\oiint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon} \iiint_V \rho dV = \frac{Q}{\epsilon}$$

Ηλεκτροστατική ισορροπία

Φορτία σε αγωγό:

- Έστω ότι έχω κάποια ελεύθερα φορτία σε κάποιο αγωγίμο σώμα. Αυτά θα κατανεμηθούν στην επιφάνειά του κατά τέτοιο τρόπο ώστε το ηλεκτρικό πεδίο στο εσωτερικό του να είναι μηδέν. Άρα θα δημιουργήσουν μια ομοιόμορφη κατανομή σε όλη του την επιφάνεια.
- Αν εφαρμόσω ένα εξωτερικό πεδίο σε έναν αγωγό τότε τα φορτία του αναδιανέμονται ώστε να εξουδετερώσουν το πεδίο στο εσωτερικό του.
- Αν το σώμα με τα φορτία έχει κοιλότητες στο εσωτερικό του, τότε το πεδίο στο εσωτερικό τους είναι ίσο με μηδέν και δεν μπορεί να περιέχουν φορτία

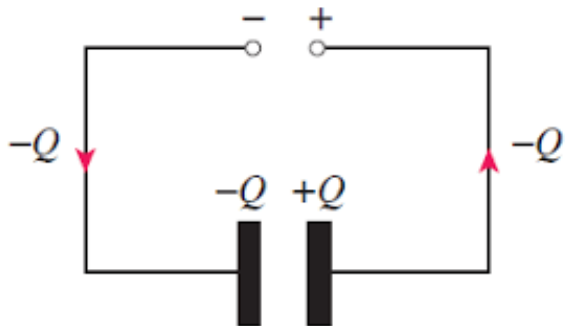


Πυκνωτές - Χωρητικότητα

Πυκνωτές καλούνται οι διατάξεις που αποτελούνται από 2 ανεξάρτητους αγωγούς (οπλισμοί) στους οποίους εφαρμόζεται ηλεκτρική τάση V (διαφορά δυναμικού).

Χωρητικότητα ενός πυκνωτή καλείται το μέγεθος που μας δείχνει την ικανότητα του πυκνωτή να αποθηκεύσει φορτίο Q και ορίζεται ως:

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\epsilon_o \epsilon_r \iint_S \vec{E} \cdot d\vec{S}}{\int_{l_{AB}} \vec{E} \cdot d\vec{l}}$$



$d\vec{S}$: απειροστό εμβαδόν πάνω στην επιφάνεια του αγωγού

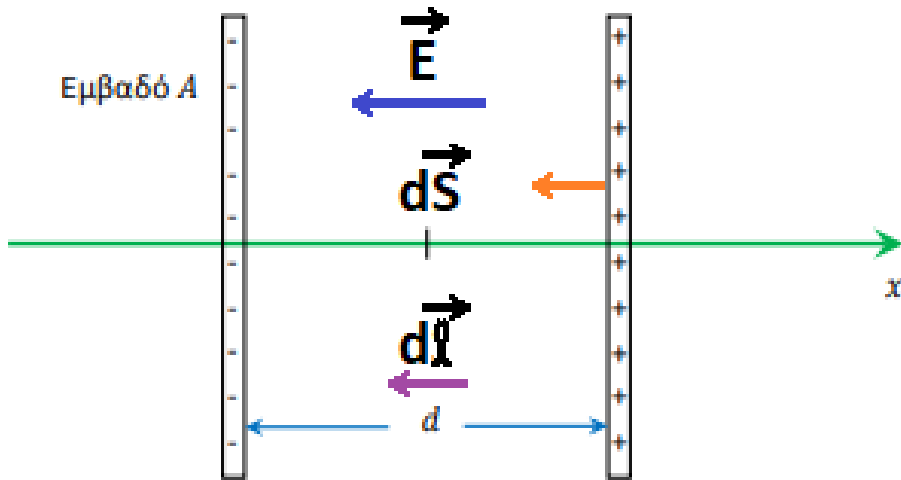
\vec{E} : ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ των αγωγών

l_{AB} : οποιαδήποτε διαδρομή ξεκινάει από τον ένα οπλισμό και καταλήγει στον άλλο

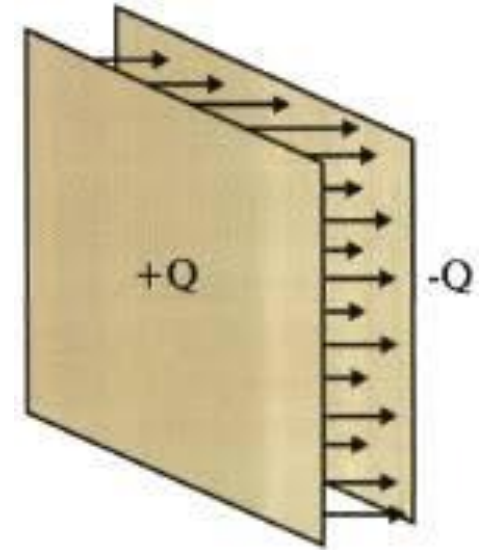
$\epsilon_o \epsilon_r = \epsilon$: διαπερατότητα μέσου

Μονάδες για τη χωρητικότητα χρησιμοποιούμε το Farad
 $1F = Cb/V$

Επίπεδος πυκνωτής



Σε έναν επίπεδο πυκνωτή η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ των οπλισμών του είναι σταθερή.



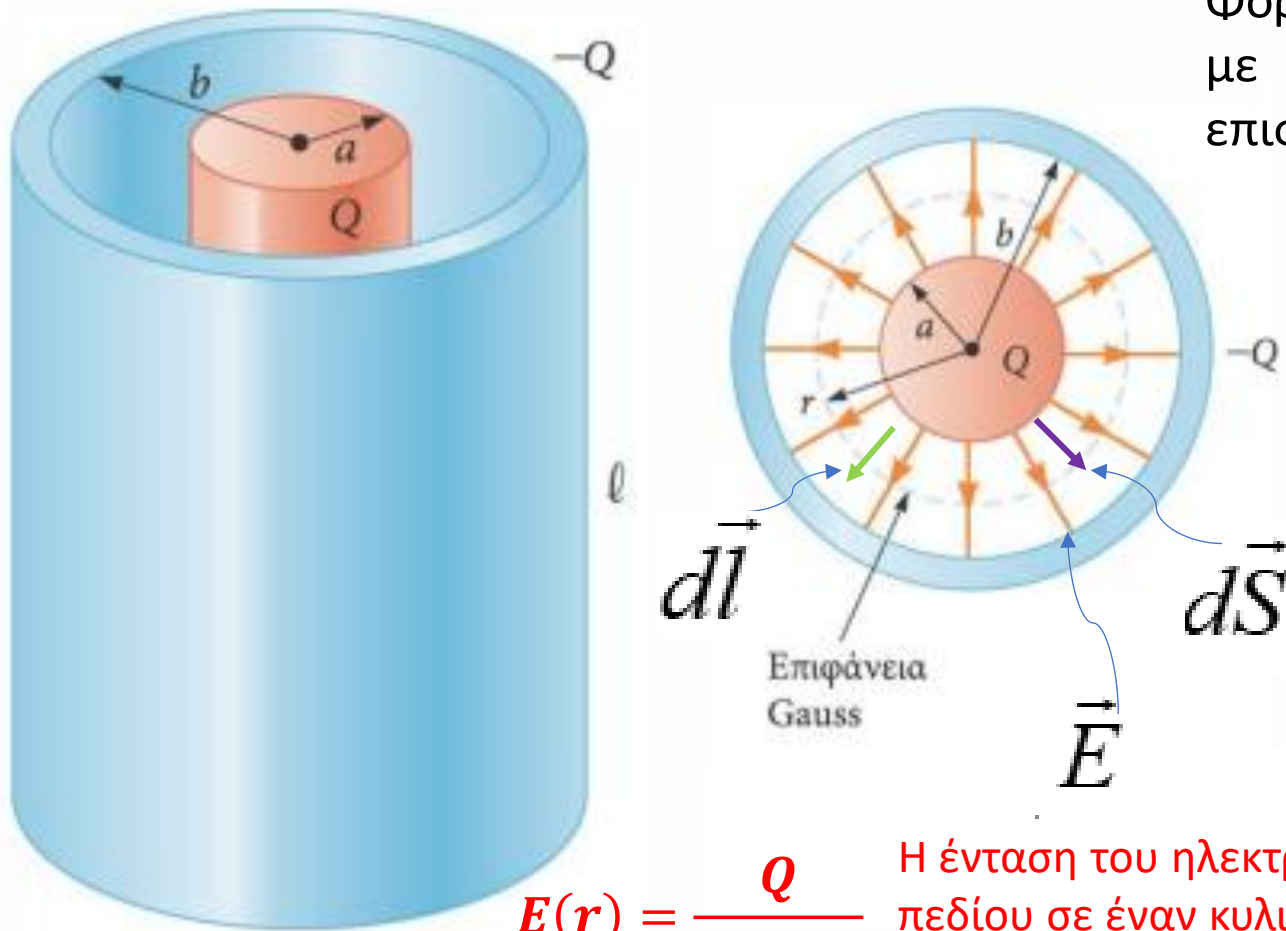
θ είναι η γωνία μεταξύ των διανυσμάτων \vec{E} και $d\vec{S}$ που είναι μηδέν. Άρα $\cos\theta=1$
 ϕ είναι η γωνία μεταξύ των διανυσμάτων \vec{E} και $d\vec{l}$ που είναι μηδέν. Άρα $\cos\phi=1$

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\epsilon_o \epsilon_r \iint_s \vec{E} \cdot d\vec{S}}{\int_{l_{AB}} \vec{E} \cdot d\vec{l}} = \frac{\epsilon \iint_s |\vec{E}| |d\vec{S}| \cos \theta}{\int_{l_{AB}} |\vec{E}| |d\vec{l}| \cos \phi} = \frac{\epsilon E \iint_s dS}{E \int_{l_{AB}} dl} = \frac{\epsilon A}{d}$$

Κυλινδρικός πυκνωτής

Οι οπλισμοί του είναι δυο ομοαξονικές κυλινδρικές επιφάνειες με ακτίνες a και b και ύψος $l \gg a, l \gg b$.

Φορτίζοντας την εξωτερική κυλινδρική επιφάνεια με φορτίο $-Q$ στην εσωτερική κυλινδρική επιφάνεια επάγεται φορτίο $+Q$



$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\epsilon_o \epsilon_r \iint_s \vec{E} \cdot d\vec{S}}{\int_{l_{AB}} \vec{E} \cdot d\vec{l}}$$

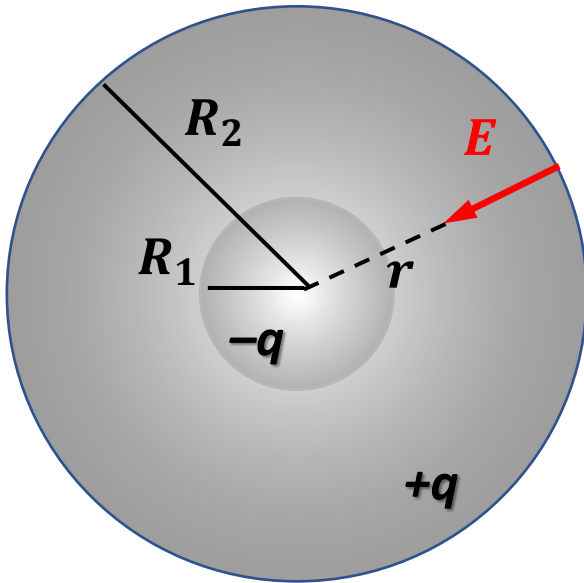
$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 l}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)}$$



$$E(r) = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 l r}$$

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου σε έναν κυλινδρικό πυκνωτή δεν είναι σταθερή

Σφαιρικός πυκνωτής



Φορτίζοντας την εσωτερική σφαιρική επιφάνεια με φορτίο $-q$ στην εξωτερική σφαιρική επιφάνεια επάγεται φορτίο $+q$

Οι οπλισμοί του είναι δυο ομόκεντρες σφαιρικές επιφάνειες με ακτίνες R_1 και R_2

Στον χώρο μεταξύ των δυο σφαιρικών επιφανειών δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο έντασης:

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

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου σε έναν σφαιρικό πυκνωτή δεν είναι σταθερή

Η χωρητικότητα προκύπτει:

$$C = 4\pi\epsilon_0 \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1}$$



Διηλεκτρικό σε πυκνωτή

Ανάμεσα στους οπλισμούς των πυκνωτών τοποθετούνται διηλεκτρικά που εξυπηρετούν τρεις λειτουργίες:

- λύνουν το πρόβλημα της **συγκράτησης των οπλισμών του πυκνωτή** σε μικρή απόσταση μεταξύ τους χωρίς να έρχονται σε επαφή (οι οπλισμοί του πυκνωτή επειδή έχουν αντίθετα φορτία, έλκονται και έχουν την τάση να πλησιάσουν μεταξύ τους).
- πολλές φορές τα ηλεκτρικά πεδία που δημιουργούνται ανάμεσα στους οπλισμούς του πυκνωτή είναι πολύ ισχυρά και υπάρχει ο κίνδυνος να δημιουργηθεί **σπινθήρας** ο οποίος καταστρέφει τον πυκνωτή. Επειδή πολλοί μονωτές αντέχουν σε ισχυρότερα πεδία από τα πεδία που αντέχει ο αέρας είναι προτιμότερη η χρήση τους. Η μέγιστη ένταση ηλεκτρικού πεδίου στην οποία αντέχει ένας μονωτής ονομάζεται διηλεκτρική αντοχή.
- με τη χρήση διηλεκτρικού **αυξάνεται η χωρητικότητα** ενός πυκνωτή.

Ερωτήσεις

- Ποια είναι τα βασικά χαρακτηριστικά ενός διηλεκτρικού;
- Τι εκφράζει η πόλωση σε ένα διηλεκτρικό υλικό;
- Πώς κατανέμονται τα ελεύθερα φορτία στην επιφάνεια ενός αγωγού όταν δεν βρίσκεται μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο;
- Αν εφαρμόσω ένα εξωτερικό πεδίο σε έναν αγωγό πώς συμπεριφέρονται τα φορτία του;
- Αν ένα σώμα με φορτία έχει κοιλότητες στο εσωτερικό του, τότε πώς διαμορφώνεται το πεδίο στο εσωτερικό του;
- Τι είναι οι πυκνωτές;
- Τι εκφράζει η χωρητικότητα ενός πυκνωτή;
- Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου είναι σταθερή σε έναν επίπεδο/κυλινδρικό/σφαιρικό πυκνωτή;
- Γιατί τοποθετούνται διηλεκτρικά ανάμεσα στους οπλισμούς ενός πυκνωτή;
- Ποιο μέγεθος ονομάζεται διηλεκτρική αντοχή;