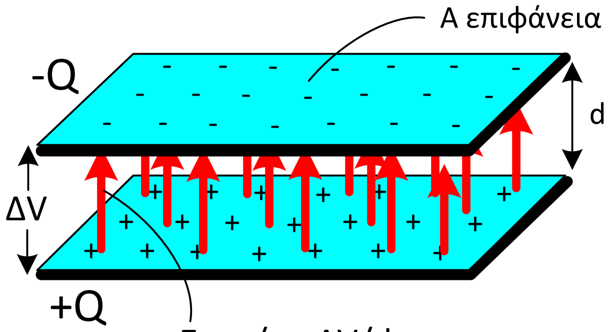
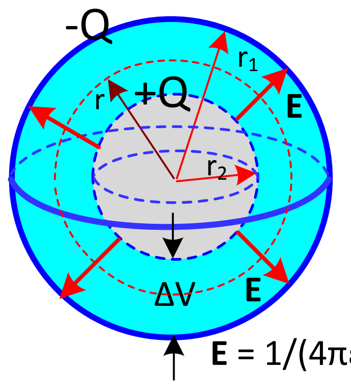
Επίπεδος πυκνωτής



$\mathbf{E} = \sigma/\varepsilon_o = \Delta V/d$

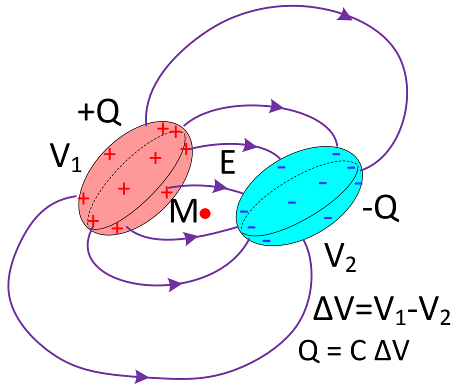
η φορά του Ε είναι αυτή που η διαφορά δυναμικού ΔV των πλακών ελλατώνεται

Σφαιρικός πυκνωτής



$\mathbf{E} = 1/(4\pi\varepsilon_o)Q/r^2$

Χωρητικότητα πυκνωτή αποτελούμενου από ζεύγους τυχαίου σχήματος αγωγών.

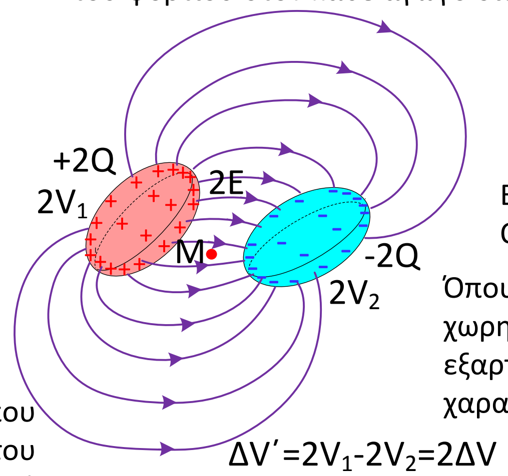


$\Delta V = V_1 - V_2$

$Q = C\,\Delta V$

Οι αγωγοί φορτίζονται με φορτία +Q και -Q που κατανέμονται κατάλληλα στην επιφάνεια του κάθε αγωγού ώστε αυτοί να αποκτούν σταθερό δυναμικό V_1 και V_2.

Διπλασιάζοντας το φορτίο των αγωγών 2Q, τότε η κατανομή του φορτίου στον κάθε αγωγό διατηρείται σταθερή...



$\Delta V' = 2V_1 - 2V_2 = 2\Delta V$

$2Q = C\,2\Delta V$

...ενώ διπλασιάζεται το ηλεκτρικό πεδίο στα 2Ε και η διαφορά δυναμικού 2ΔV.

Επομένως ισχύει η αναλογίες $Q = C\,\Delta V$ και $2Q = C\,2\Delta V$

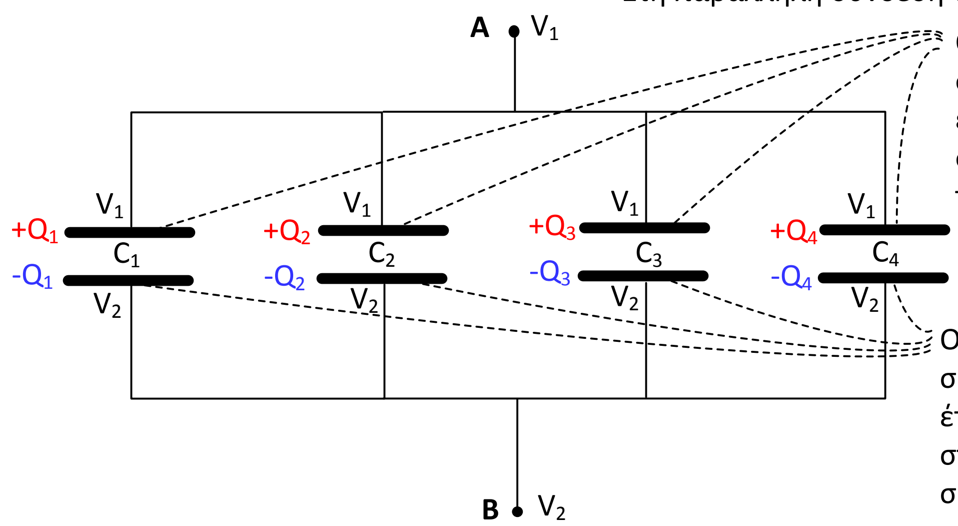
Όπου ο συντελεστής αναλογίας C είναι η χωρητικότητα του πυκνωτή η οποία εξαρτάται μόνο από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διάταξης.

Συνδυασμός πυκνωτών

μέταλλο

Πυκνωτές σε παράλληλη σύνδεση

Στη παράλληλη σύνδεση των πυκνωτών συμβαίνει το εξής.



Ο ένας οπλισμός όλων των πυκνωτών συνδέεται σε ένα κοινό σημείο Α και έτσι όλοι αυτοί οι οπλισμοί βρίσκονται στο ίδιο δυναμικό V_1 που βρίσκεται και το σημείο Α.

Ο άλλος οπλισμός όλων των πυκνωτών συνδέεται σε ένα άλλο κοινό σημείο Β και έτσι όλοι αυτοί οι οπλισμοί βρίσκονται στο ίδιο δυναμικό V_2 που βρίσκεται και το σημείο Β.

Έτσι όλοι οι πυκνωτές έχουν την ίδια διαφορά δυναμικού $\Delta V = V_1 - V_2$.

$\Delta V_1 = \Delta V_2 = \ldots = V_1 - V_2 = \Delta V =$ σταθερό

Αν το συνολικό φορτίο είναι $Q_{συν}$, τότε αυτό το φορτίο θα μοιραστεί σε όλους τους πυκνωτές ώστε

$Q_{συν} = Q_1 + Q_2 + \ldots$

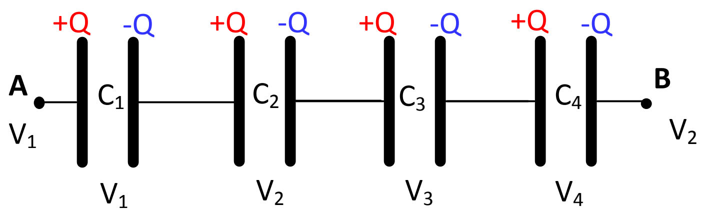
Αν η συνολική χωρητικότητα είναι $C_{συν} = Q_{συν}/\Delta V$ τότε

$C_{συν}\,\Delta V = C_1\Delta V_1 + C_2\Delta V_2 + \ldots = C_1\Delta V + C_2\Delta V + \ldots$

$C_{συν} = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots$

Πυκνωτές σε σειρά Ο οπλισμός του ενός πυκνωτή συνδέεται με τον οπλισμό του επόμενου κ.ο.κ.

Όταν ο ένας οπλισμός αποκτά φορτίο +Q τότε ο επόμενος οπλισμός αποκτά εξ επαγωγής το αντίθετο φορτίο -Q κ.ο.κ. και έτσι όλοι οι οπλισμοί αποκτούν εναλλάξ αντίθετα φορτία με την ίδια απόλυτη τιμή.



Όταν εφαρμόσουμε μια διαφορά δυναμικού $\Delta V = V_1 - V_2$ στα άκρα A και B της συνδεσμολογίας των σε σειρά πυκνωτών, τότε αυτή η διαφορά δυναμικού θα μοιραστεί στους πυκνωτές ως εξής $\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2 + \ldots$

Q = σταθερό

Αν η συνολική χωρητικότητα είναι $C_{\sigma\upsilon\nu} = Q/\Delta V$, τότε $Q/C_{\sigma\upsilon\nu} = Q/C_1 + Q/C_2 + \ldots$

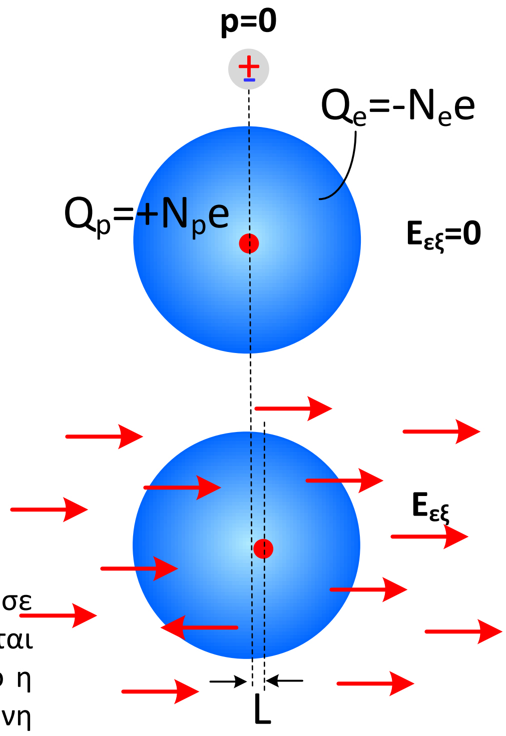
$$1/C_{\sigma\upsilon\nu} = 1/C_1 + 1/C_2 + \ldots$$

ΔΙΗΛΗΚΤΡΙΚΑ

Επαγώμενα ηλεκτρικά δίπολα

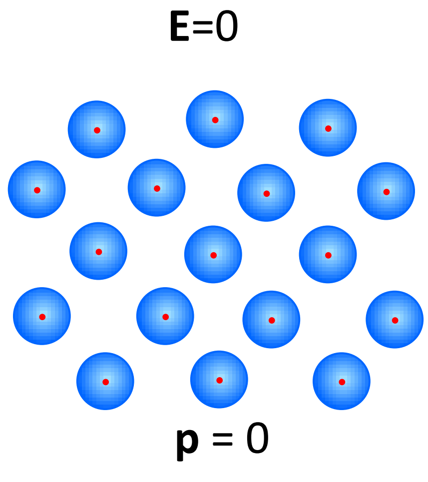
Ένα ουδέτερο άτομο ενός μονωτικού υλικού αποτελείται από τα N_e ηλεκτρόνια φορτίου $Q_e = -eN_e$ και τα N_p συνολικού φορτίου $Q_p = eN_p$ του πυρήνα όπου $N_p = N_e$ και $Q_p = -Q_e$. Αν το κέντρο το θετικού φορτίου των πρωτονίων του πυρήνα πρακτικά συμπίπτει με το κέντρο του αρνητικού φορτίου των ηλεκτρονικών νεφών των ηλεκτρονίων, τότε το άτομο είναι ηλεκτρικά ουδέτερο χωρίς να παρουσιάζει ηλεκτρική διπολική ροπή p=0.

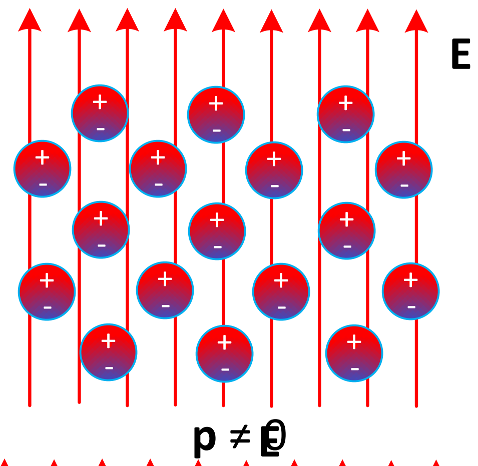
Αν τα παραπάνω άτομα ενός μονωτικού υλικού βρεθούν μέσα σε όχι πάρα πολύ ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο $E_{\varepsilon\xi}$ ώστε να μην μπορεί να ιονίσει τα άτομα, τότε θα ασκηθούν αντίθετες ηλεκτρικές δυνάμεις στα ηλεκτρόνια $F_{\varepsilon\xi} = -eE_{\varepsilon\xi}$ και στον πυρήνα $F_{\varepsilon\xi} = eE_{\varepsilon\xi}$ οι οποίες θα τείνουν να τα μετακινήσουν λίγο σε αντίθετες κατευθύνσεις.

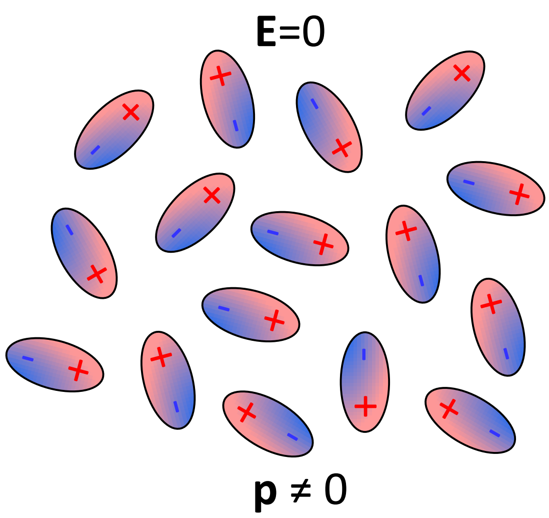


Συνεπώς μη πολικά διηλεκτρικά χωρίς ηλεκτρικό πεδίο δεν έχουν διπολική ροπή (p=0).

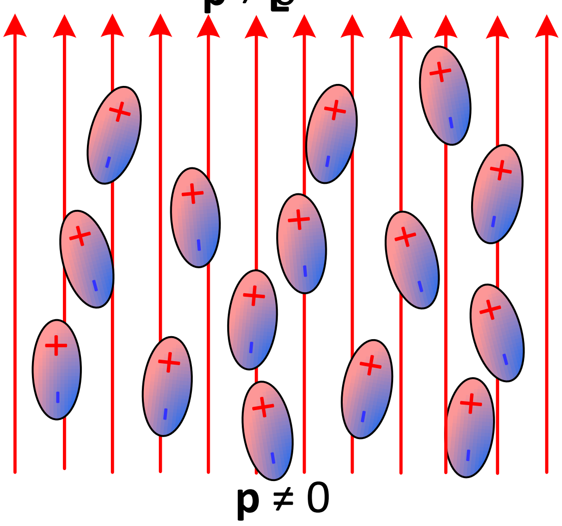
Εισάγοντας το μη πολικό διηλεκτρικό σε χώρο με ηλεκτρικό πεδίο τότε επάγεται διπολική ροπή **p** στο κάθε άτομο ή μόριο η οποία θα είναι πρακτικά προσανατολισμένη παράλληλα με το ηλεκτρικό πεδίο **E**.







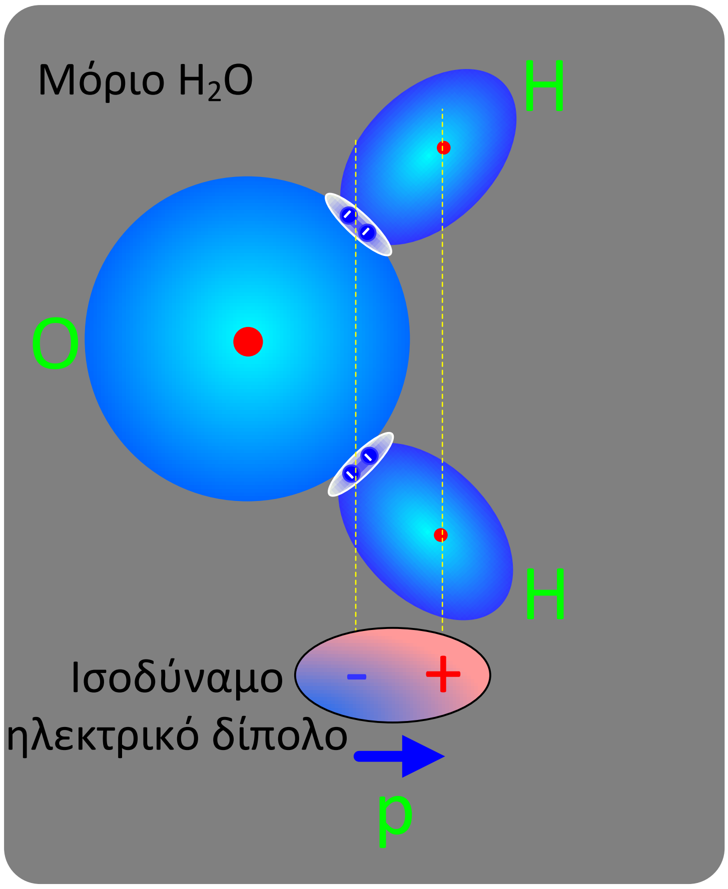
Χωρίς ηλεκτρικό πεδίο οι διπολικές ροπές ενός πολικού διηλεκτρικού έχουν τυχαίο προσανατολισμό.



Εφαρμόζοντας ηλεκτρικό πεδίο στο χώρο με το πολικό διηλεκτρικό, τότε πραγματοποιείται μερικός προσανατολισμός των υπαρχόντων διπολικών ροπών του διηλεκτρικού, γιατί οι θερμικές κινήσεις αντιτίθενται στην ευθυγράμμιση των διπόλων

Εισάγοντας το μη πολικό διηλεκτρικό τότε επάγεται διπολική ροπή **p** στο κάθε άτομο ή μόριο η οποία θα είναι προσανατολισμένη παράλληλα με το ηλεκτρικό πεδίο **E**.

Μερικά μόρια, όπως το νερό, παρουσιάζουν ήδη ηλεκτρική διπολική ροπή χωρίς να υπάρχει εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο. Αυτά τα διηλεκτρικά ονομάζονται πολικά διηλεκτρικά. Συγκεκριμένα, στο νερό τα ηλεκτρόνια συκεντρώνονται περισσότερο κοντά προς το άτομο του οξυγόνου αφήνοντας περίσεια θετικού φορτίου στα άτομα του υδρογόνου δημιουργώντας διπολική ροπή. Έτσι κάθε μόριο του νερού είναι ηλεκτρικό δίπολο. Η διπολική ροπή του νερού παρουσιάζει ασυνήθιστα μεγάλη τιμή $p=6.1 \times 10^{-30}$ C m, η οποία το καθιστά εξαιρετικό διαλύτη. Αν δεν υπάρχει στο χώρο ηλεκτρικό πεδίο, τότε η διάταξη των διπόλων του πολικού διηλεκτρικού είναι τυχαία χωρίς να δημιουργείται μακροσκοπικά ηλεκτρικό φορτίο.



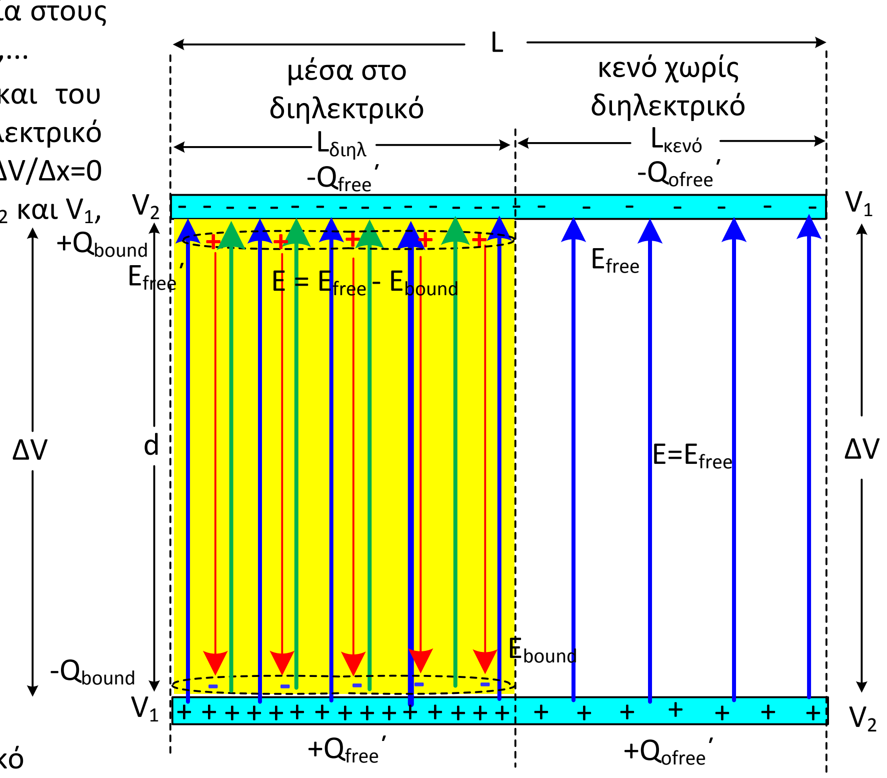
Ηλεκτρική διπολική ροπή μορίου νερού (μόνιμη)

Μερική κάλυψη διηλεκτρικού σε πυκνωτή.

Αφού υπάρχει ισορροπία και τα φορτία στους οπλισμούς του πυκνωτή είναι ακίνητα,...

...τότε κατά μήκος του αρνητικού και του θετικού οπλισμού δεν υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο $E_x=0$ και βαθμίδα δυναμικού $\Delta V/\Delta x=0$ όπου το δυναμικό θα είναι σταθερά V_2 και V_1, αντίστοιχα.

Επομένως η διαφορά δυναμικού και στο χώρο του πυκνωτή που έχει διηλεκτρικό και στο χώρο χωρίς διηλεκτρικό θα είναι πάντα $\Delta V=V_1-V_2$.

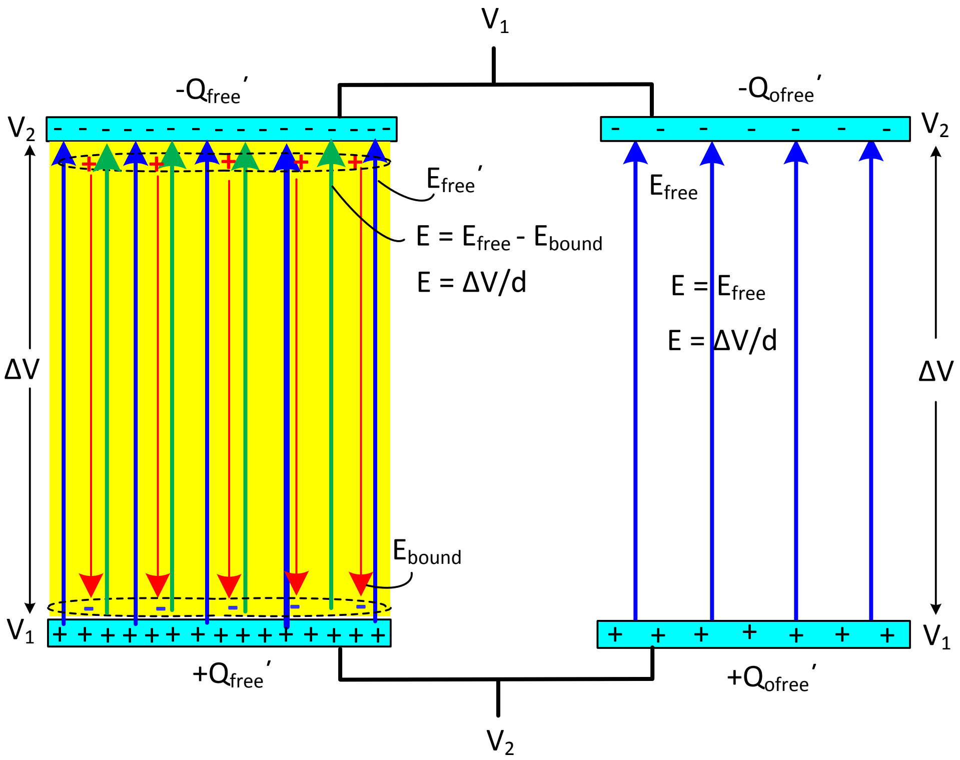


Για να είναι σταθερό το δυναμικό κατά μήκος των ηλεκτροδίων...

...θα πρέπει στο χώρο που έχει διηλεκτρικό για να αντισταθμίζονται τα Q_{bound} του διηλεκτρικού τα φορτία Q_{free}' του πυκνωτή θα είναι περισσότερα....

...από τα φορτία Q_{ofree}' στο χώρο χωρίς διηλεκτρικό

Αφού το δυναμικό είναι σταθερό κατά μήκος των οπλισμών είναι σταθερό τότε ο πυκνωτής είναι ισοδύναμος με σύστημα από ένα πυκνωτή που αντιστοιχεί στο χώρο του πυκνωτή με το διηλεκτρικό και ένα άλλο πυκνωτή που αντιστοιχεί στο υπόλοιπο πυκνωτή χωρίς το διηλεκτρικό σε παράλληλη σύνδεση



Η χωρητικότητα C του αρχικού πυκνωτή με τη μερική κάλυψη του διηλεκτρικού ισούται με την συνολική χωρητικότητα C του ισοδύναμου συστήματος των δύο πυκνωτών με χωρητικότητες $C_{\delta\iota\eta\lambda}$ (με το διηλεκτρικό) και $C_{\kappa\varepsilon\nu\acute{o}}$ (χωρίς το διηλεκτρικό) σε παράλληλη σύνδεση. Άρα

$$C = C_{\delta\iota\eta\lambda} + C_{\kappa\varepsilon\nu\acute{o}}\,.$$

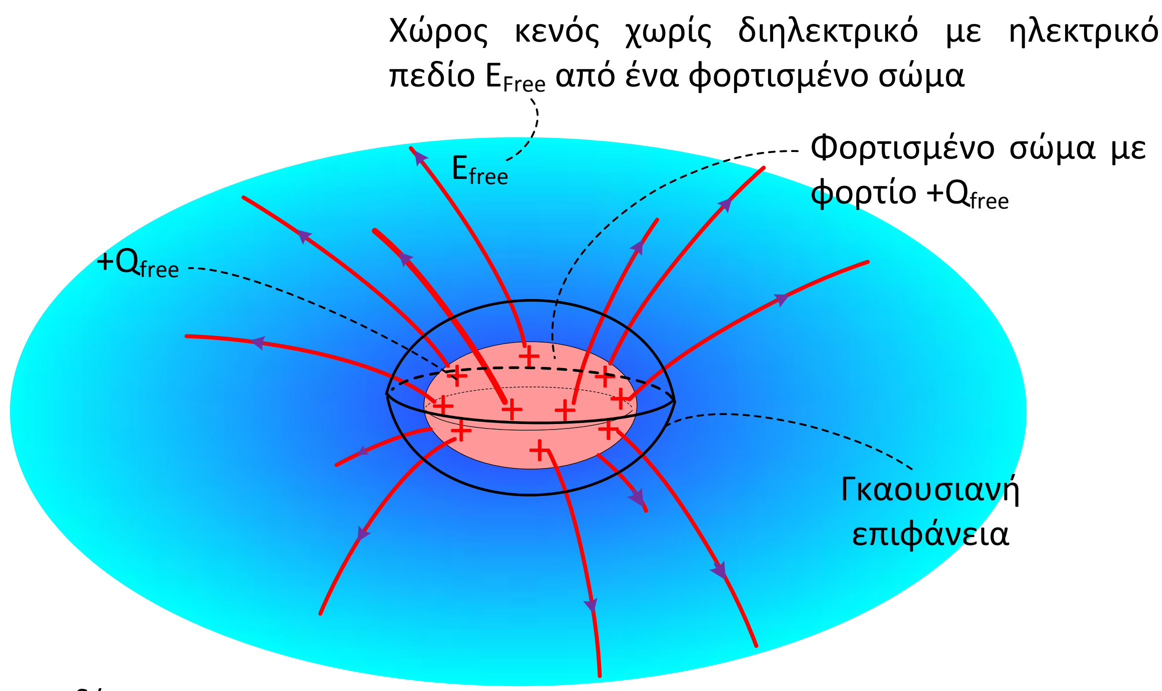
$$C = \kappa\varepsilon_o \frac{A'}{d} + \varepsilon_o \frac{A - A'}{d}$$

$$C = \kappa\varepsilon_o \frac{b\, L_{\delta\iota\eta\lambda}}{d} + \varepsilon_o \frac{b\, L_{\kappa\varepsilon\nu\acute{o}}}{d}$$

$$C = \varepsilon_o \frac{b}{d}\left[\kappa(L - L_{\kappa\varepsilon\nu\acute{o}}) + L_{\kappa\varepsilon\nu\acute{o}}\right]$$

Νόμος του Gauss σε διηλεκτρικά

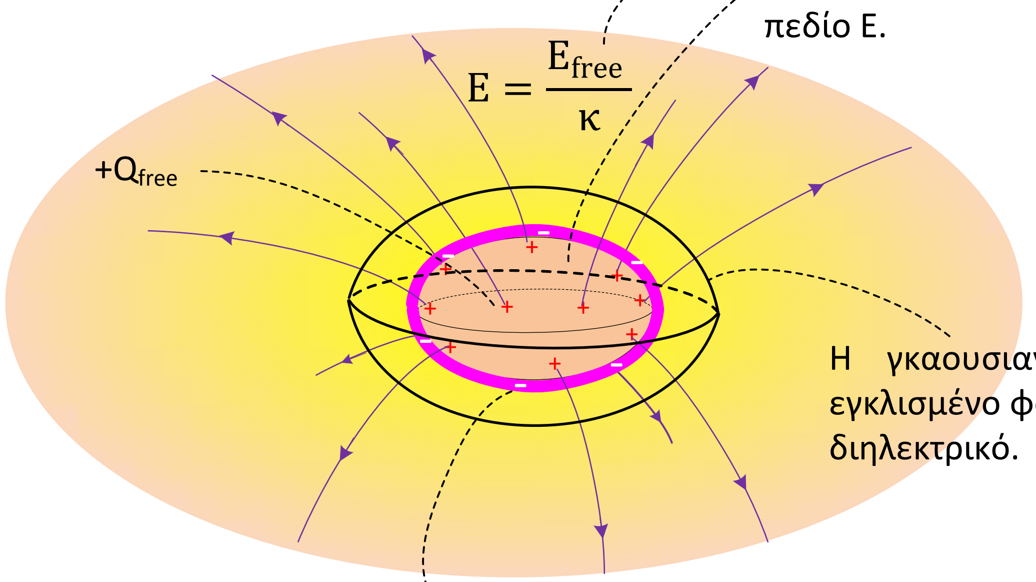
Ο νόμος του Gauss διατυπώθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο για την περίπτωση όπου ο χώρος όπου βρίσκονται τα ηλεκτρικά φορτία είναι κενός. Για παράδειγμα θετικά φορτισμένος αγωγός, τότε ο κενός χώρος θα χαρακτηρίζεται από το ηλεκτρικό πεδίο E_{free} που δημιουργείται από το φορτίο Q_{free}.



Ο νόμος του Gauss για μια οποιαδήποτε γκαουσιανή επιφάνεια που περικλείει το Q_{free} θα είναι

$$\int_{\gamma\kappa\alpha o\upsilon\sigma\iota\alpha\nu\acute{\eta}} \mathbf{E_{free}}\, d\mathbf{S} = \frac{Q_{\varepsilon\gamma\kappa\lambda}}{\varepsilon_o} = \frac{Q_{free}}{\varepsilon_o}$$

Θα εξετάσουμε τη περίπτωση όπου ο φορτισμένος αγωγός βρίσκεται μέσα σε χώρο με διηλεκτρικό.



Ο νόμος του Gauss για την παραπάνω γκαουσιανή επιφάνεια που θα περιλαμβάνει σαν εγκλισμένο φορτίο εκτός από το Q_{free} του φορτισμένου αγωγού και το Q_{bound} από το διηλεκτρικό γράφεται

$$\int_{\text{γκαουσιανή}} \mathbf{E}\, d\mathbf{S} = \frac{Q_{εγκλ}}{ε_o} = \frac{Q_{free} - Q_{bound}}{ε_o}$$

όπου το μείον ($-Q_{bound}$) αναφέρεται στο γεγονός ότι στο διηλεκτρικό επάγεται φορτίο Q_{bound} με αντίθετο πρόσημο από αυτό του Q_{free}. Επειδή όμως συνήθως το δέσμιο Q_{bound} φορτίο στο διηλεκτρικό προσδιορίζεται δύσκολα, η Εξ. (16.33) είναι δίσχρηστη. Όταν ο φορτισμένος αγωγός που έχει ένα είδος σημμετρίας, όπως σφαιρική, κυλινδρική, επίπεδη, με συνολικό φορτίο Q_{free}, αυτό το φορτίο είναι κατανεμμημένο σημμετρικά στον αγωγό μέσα σε κενό χώρο. Στην περίπτωση αυτή όταν υπάρχει διηλεκτρικό γύρω από τον αγωγό στο οποίο επάγεται δέσμιο φορτίο Q_{bound} επίσης σημμετρικά το οποίο δεν επειρεάζει την κατανομή του ελεύθερου φορτίου Q_{free}. Τότε αντί για την Εξ. (16.34), θεωρώντας πως στο χώρο με το διηλεκτρικό το ηλεκτρικό πεδίο $\mathbf{E}_{\mathbf{free}}$ θα γράφεται με τη βοήθεια της διηλεκτρικής σταθεράς και την Εξ. (16.20) σαν $\mathbf{E}_{\mathbf{free}}=κ\mathbf{E}$, τότε η Εξ. (16.33) γράφεται για την περίπτωση που υπάρχει διηλεκτρικό

$$\int_{\text{γκαουσιανή}} κ\, \mathbf{E}\, d\mathbf{S} = \frac{Q_{free}}{ε_o}$$

η οποία γράφεται στην μορφή
(νόμος του Gauss με διηλεκτρικό)

$$\int_{\text{γκαουσιανή}} ε_o κ\, \mathbf{E}\, d\mathbf{S} = Q_{free}$$

Η Εξ. (16.34) αποτελεί έκφραση του νόμου του Gauss με διηλεκτρικό και συσχετίζει το συνολικό ηλεκτρικό πεδίου **E** με το Q_{free} του φορτισμένου σώματος. Το Q_{bound} δεν υπάρχει εκπεφρασμένο στην παραπάνω Εξ. (16.34), ενώ η επίδρασή του υπάρχει στη διηλεκτρική σταθερά κ. Η σταθερά κ είναι γραμμένη μέσα στο ολοκλήρωμα της Εξ. (16.34) για να συμπεριλάβει και την περίπτωση όπου αυτή μεταβάλλεται επάνω στην γκαουσιανή επιφάνεια. Πρέπει να σημειωθεί η γενική ισχύς της Εξ. (16.34) ακόμα και στην περίπτωση που ο αγωγό έχει οποιοδήποτε σχήμα όχι απαραίτητα σημμετρικό. Το διάνυσμα $ε_oκ\mathbf{E}$ καλείται και ηλεκτρική μετατόπιση $\mathbf{D}= ε_oκ\mathbf{E}$ και ο νόμος του Gauss με διηλεκτρικό γράφεται

$$\int_{\text{γκαουσιανή}} \mathbf{D}\, d\mathbf{S} = Q_{free}$$