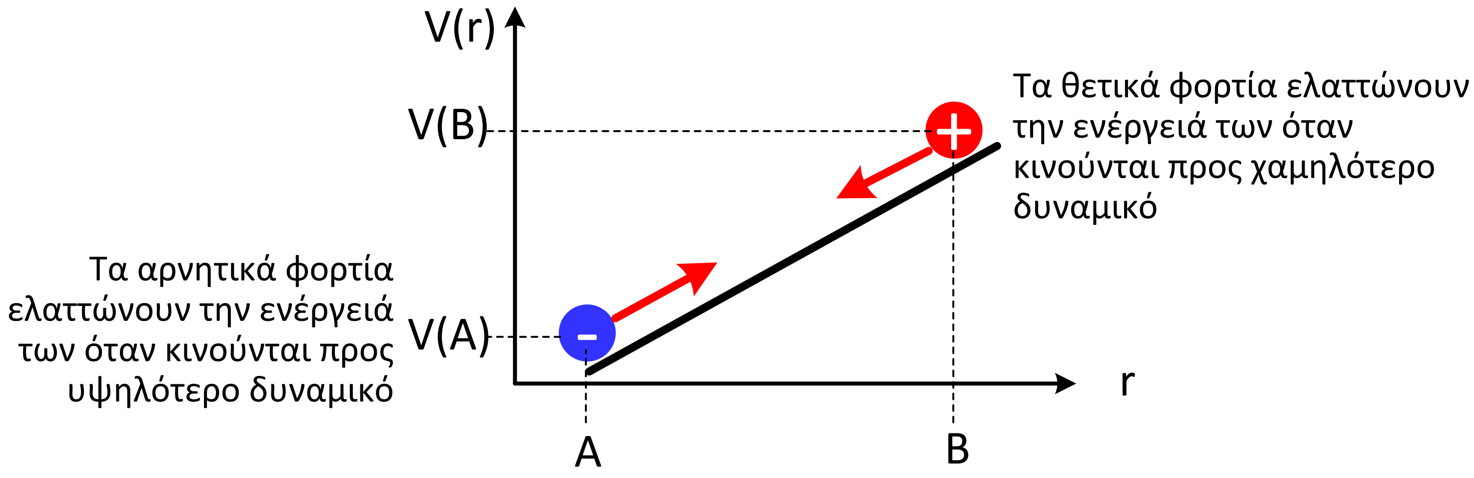
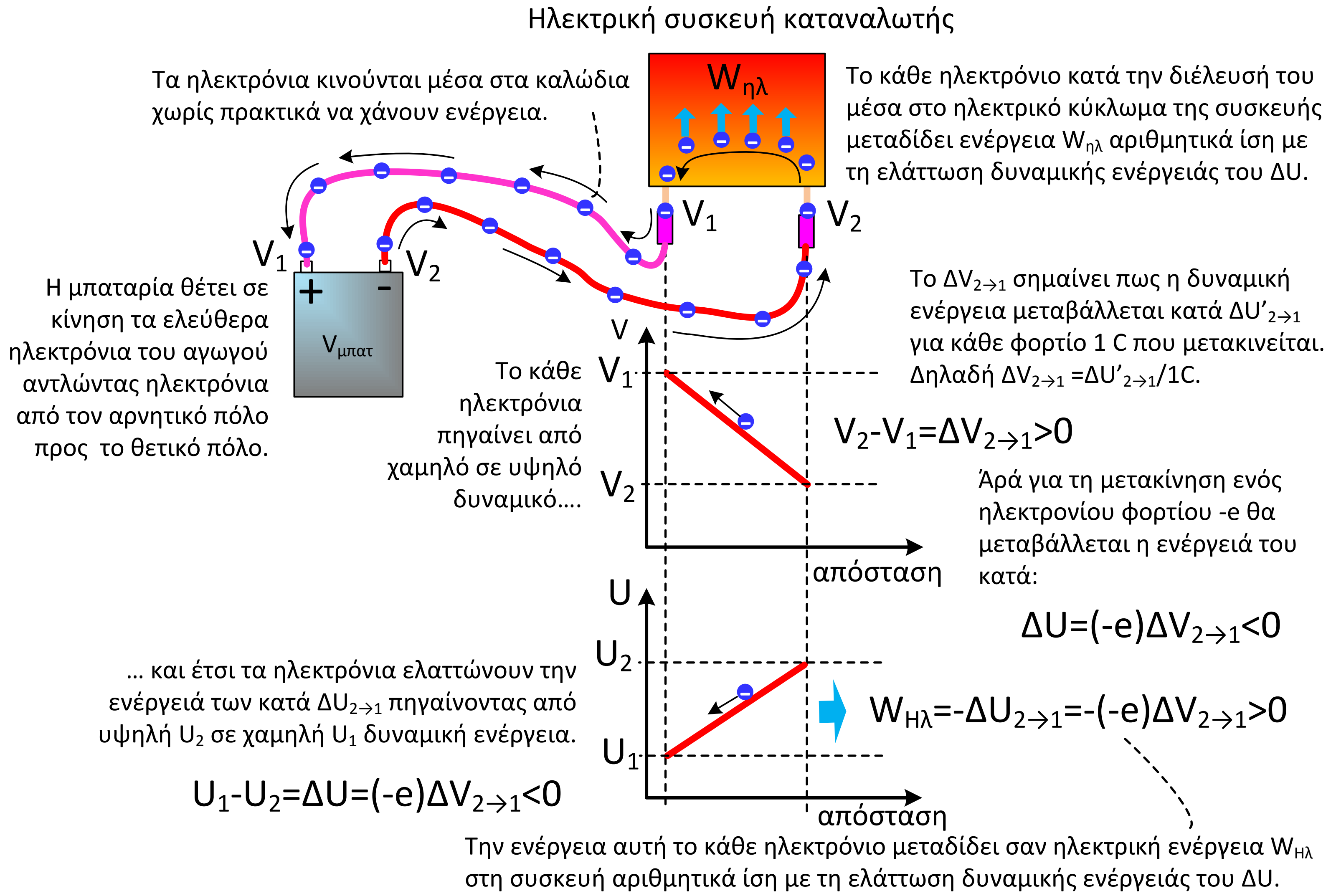
Τι σημαίνει πρακτικά διαφορά δυναμικού ΔV



Η κίνηση αυτή των ηλεκτρονιων μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσα σε αγωγούς και συγκεκριμένα λεπτούς εύκαμπτους μεταλλικούς αγωγούς που συνιστούν τα ηλεκτρικά καλώδια. Έτσι αν εξασφαλίσουμε μια διαφορά δυναμικού ΔV στα άκρα των καλωδίων, τότε τα ηλεκτρόνια θα κινηθούν προς τη ηλεκτρική συσκεύη μεταδίδοντάς της την ενέργειά των ως εξής.



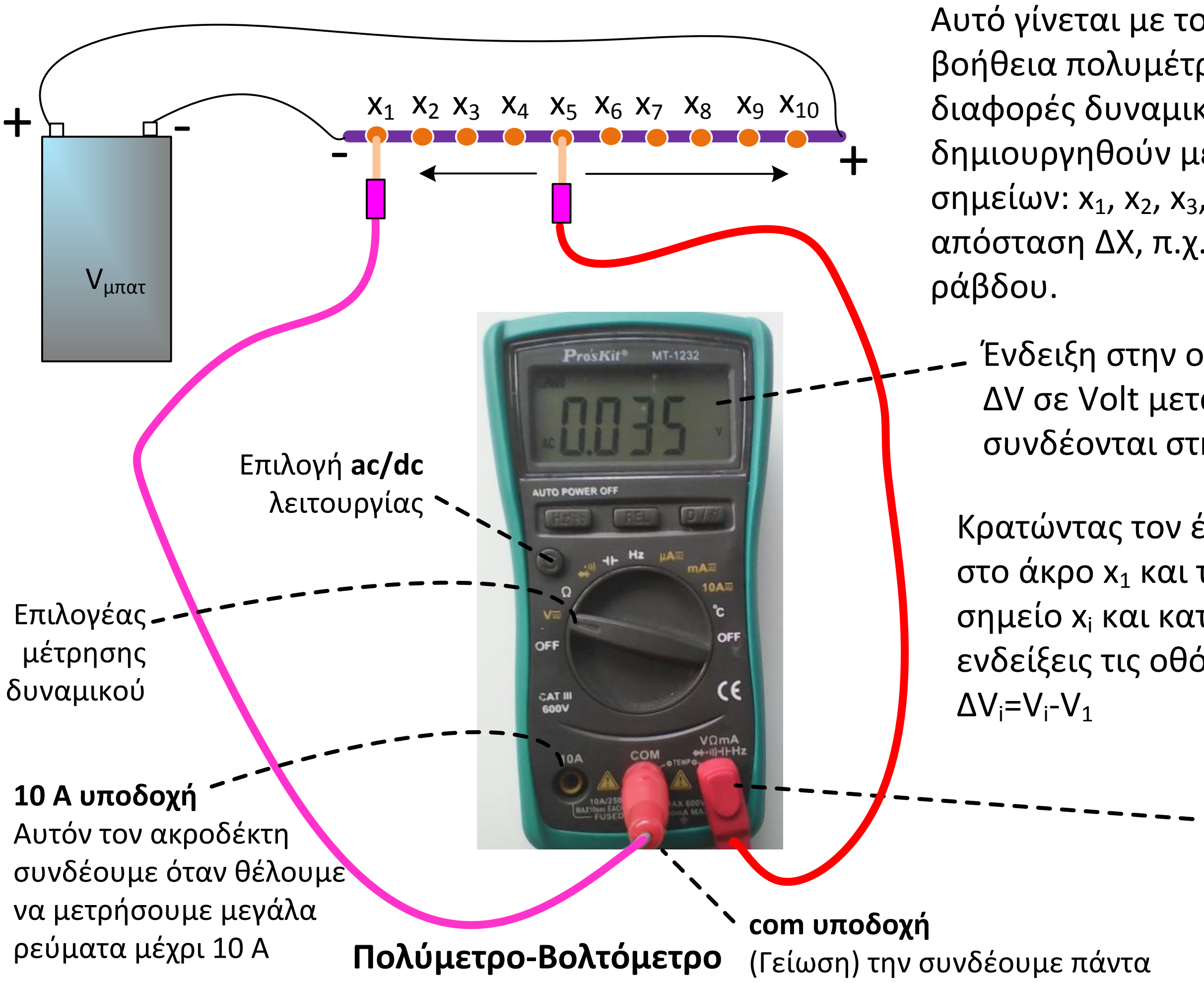
Να βρεθεί το ηλεκτρικό πεδίο κατά μήκος λεπτής μεταλλικής ράβδου της οποίας τα άκρα έχουν συνδεθεί με μια μπαταρία συνεχούς τάσης.

Πως βρίσκω πειραματικά το ηλεκτρικό πεδίο λεπτής μεταλλικής ράβδου

Λεπτή μεταλλική ράβδος που τα άκρα της συνδέονται μέσω καλωδίων με μπαταρία που παρέχει σταθερή διαφορά δυναμικού $V_{μπατ}$ στα άκρα της ράβδου

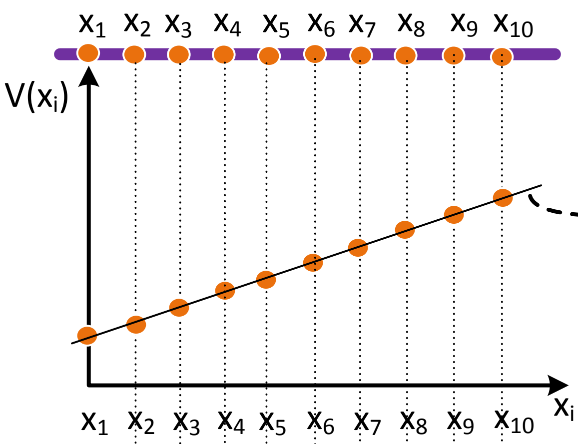
Θέλουμε να προσδιορίσουμε το ηλεκτρικό πεδίο μέσα στη ράβδο.

Αυτό γίνεται με το να μετρήσουμε με τη βοήθεια πολυμέτρου το οποίο μετράει διαφορές δυναμικού ΔV που θα δημιουργηθούν μεταξύ διαδοχικών σημείων: x_1, x_2, x_3,…. που ισαπέχουν απόσταση ΔX, π.χ. 5 mm, κατά μήκος της ράβδου.



Πολύμετρο-Βολτόμετρο

Κρατώντας τον ένα ακροδέκτη (com) σταθερό στο άκρο x_1 και το άλλο το ακουμπάμε σε κάθε σημείο x_i και καταγράφουμε τις αντίστοιχες ενδείξεις τις οθόνης $ΔV_i$. Η κάθε $ΔV_i$ ισούται με $ΔV_i=V_i-V_1$



Κάνουμε τη γραφική παράσταση των $ΔV_i$ Συναρτήσει της απόστασης x_i.

Θα παρατηρήσουμε ότι η $ΔV_i$ αυξάνεται από μικρές τιμές, κοντά στο αριστερό άκρο που συνδέεται με το «-» της μπαρταρίας, σε μεγαλύτερες τιμές δυναμικού στο δεξί άκρο που συνδέεται με το «+» της μπαταρίας.

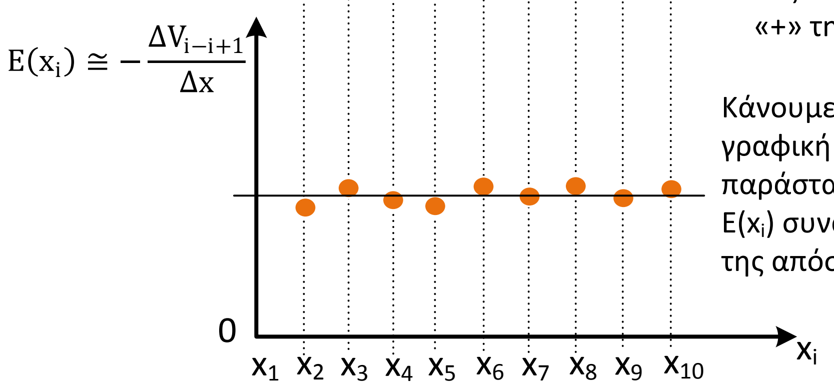
$ΔV_i=V_i-V_1$

$ΔV_2=V_2-V_1$
$ΔV_3=V_3-V_1$
$ΔV_4=V_4-V_1$
$ΔV_5=V_5-V_1$
$ΔV_6=V_6-V_1$
$ΔV_7=V_7-V_1$
$ΔV_8=V_8-V_1$
$ΔV_9=V_9-V_1$
$ΔV_{10}=V_{10}-V_1$

Η διαφορά δυναμικού $ΔV_{i\text{-}i+1}$ μεταξύ των διαδοχικών σημείων υπολογίζονται από:

$ΔV_{i\text{-}i+1}=ΔV_{i+1}-ΔV_i$

$ΔV_{2\text{-}3}=ΔV_3-ΔV_2$
$ΔV_{3\text{-}4}=ΔV_3-ΔV_2$
$ΔV_{4\text{-}5}=ΔV_3-ΔV_2$
$ΔV_{5\text{-}6}=ΔV_3-ΔV_2$
$ΔV_{6\text{-}7}=ΔV_3-ΔV_2$
$ΔV_{7\text{-}8}=ΔV_3-ΔV_2$
$ΔV_{8\text{-}9}=ΔV_3-ΔV_2$
$ΔV_{9\text{-}10}=ΔV_3-ΔV_2$

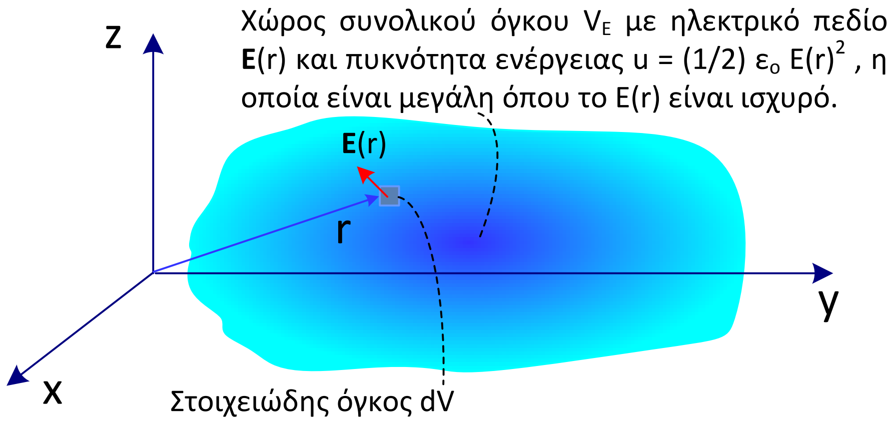


Κάνουμε τη γραφική παράσταση του $E(x_i)$ συναρτήσει της απόστασης x_i.

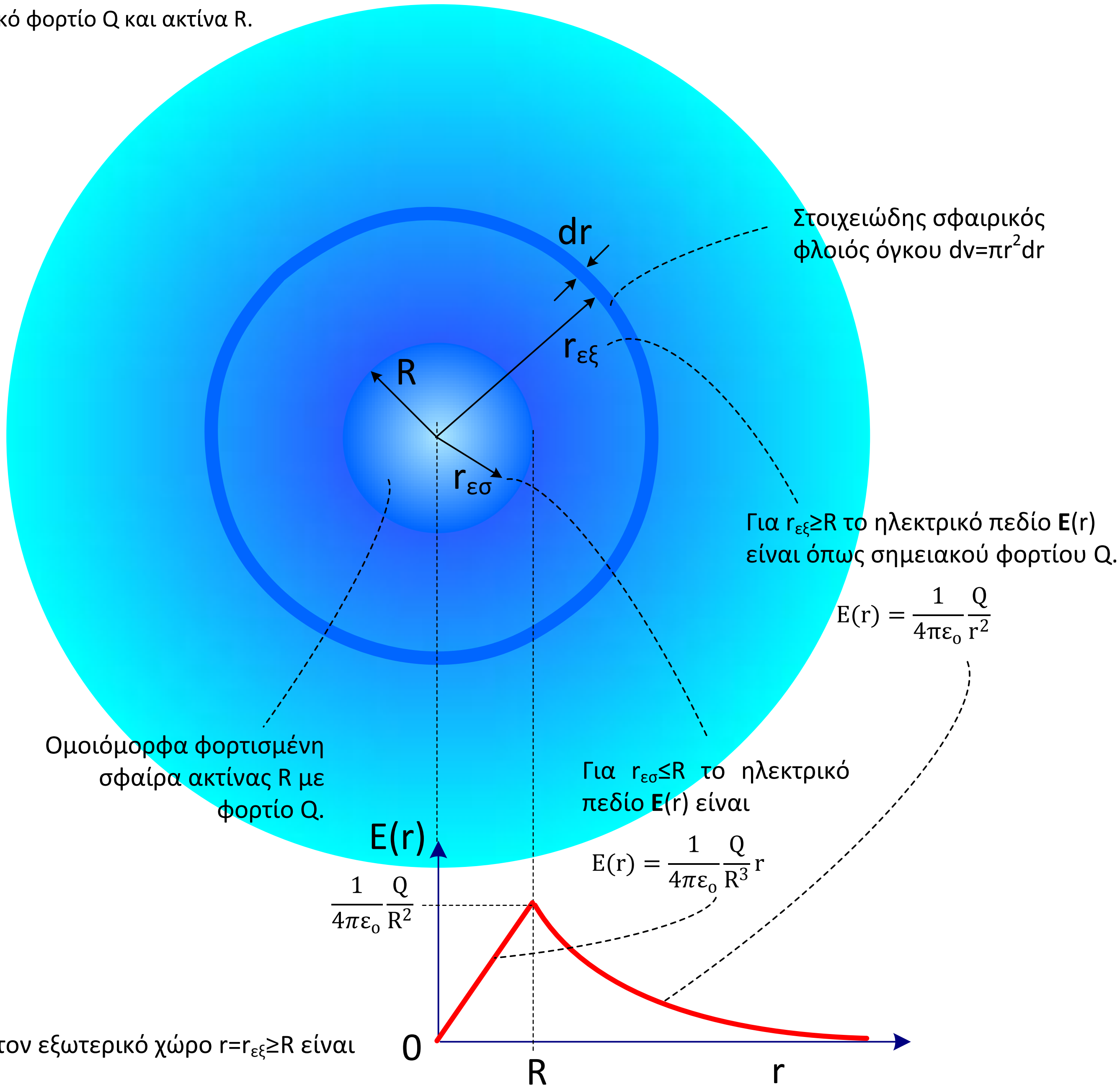
Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου υπολογίζεται από :

$$E(x_i) \cong -\frac{ΔV_{i-i+1}}{Δx}$$

Θα παρατηρήσουμε ότι το το ηλεκτρικό πεδίο $E(x_i)$ κατά της μήκος της λεπτής ράβδου είναι μέσα στο πειραματικό σφάλμα περίπου σταθερό.



Να υπολογιστεί η συνολική ηλεκτρική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη σε ομοιόμορφα φορτισμένη σφαίρα με συνολικό φορτίο Q και ακτίνα R.



Η ηλεκτρική ενέργεια $U_{\varepsilon\xi}$ στον εξωτερικό χώρο $r=r_{\varepsilon\xi}\geq R$ είναι

$$U_{\varepsilon\xi} = \int_R^\infty 1/2\varepsilon_o (E(r))^2 dv = \int_R^\infty 1/2\varepsilon_o \left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{Q}{r^2}\right)^2 4\pi r^2 dr = \frac{Q^2}{8\pi\varepsilon_o}\int_R^\infty \frac{dr}{r^2} = \frac{Q^2}{8\pi\varepsilon_o}\left[-\frac{1}{r}\right]_R^\infty = \frac{1}{8\pi\varepsilon_o}\frac{Q^2}{R}$$

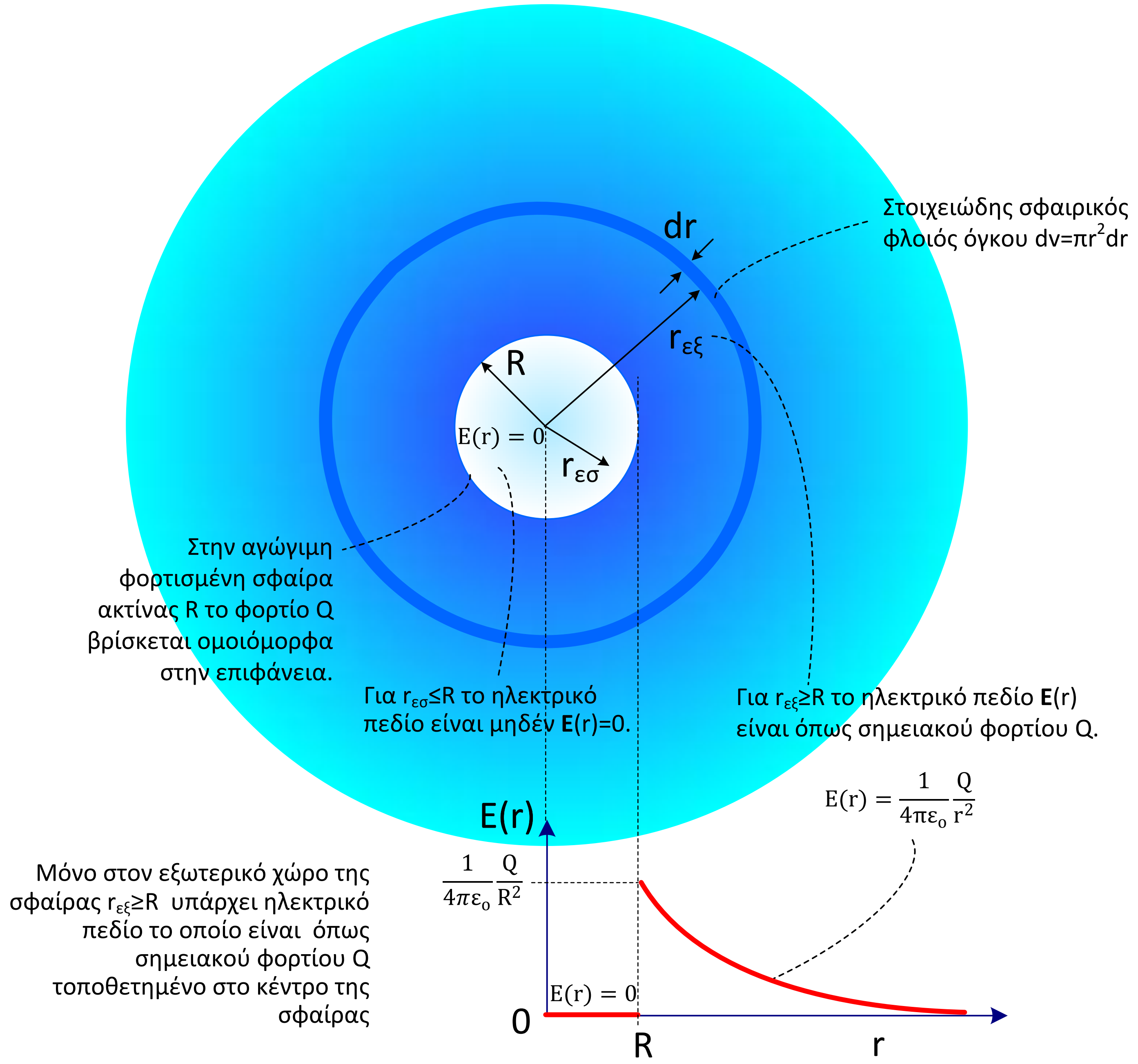
Στο εσωτερικό χώρο $r_{\varepsilon\sigma}\leq R$ η ενέργεια $U_{\varepsilon\sigma}$ είναι

$$U_{\varepsilon\sigma} = \int_0^R 1/2\varepsilon_o (E(r))^2 dv = \int_0^R 1/2\varepsilon_o \left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{Q}{R^3}r\right)^2 4\pi r^2 dr = \frac{Q^2}{8\pi\varepsilon_o R^3}\int_0^R r^4 dr = \frac{Q^2}{40\pi\varepsilon_o R^6}[r^5]_0^R = \frac{1}{40\pi\varepsilon_o}\frac{Q^2}{R}$$

Η συνολική ενέργεια σε όλο το χώρο μέσα και έξω από τη σφαίρα θα είναι

$$U = U_{\varepsilon\sigma} + U_{\varepsilon\xi} = \frac{1}{8\pi\varepsilon_o}\frac{Q^2}{R} + \frac{1}{40\pi\varepsilon_o}\frac{Q^2}{R} = \frac{3}{20\pi\varepsilon_o}\frac{Q^2}{R}$$

Να υπολογιστεί η συνολική ηλεκτρική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη σε αγώγιμη φορτισμένη σφαίρα με συνολικό φορτίο Q και ακτίνα R.



Θεωρώντας στοιχειώδη όγκο dv ένα σφαιρικό φλοιό με εσωτερική ακτίνα r και εξωτερική ακτίνα r+dr η ηλεκτρική ενέργεια αποθυκευμένη στον εξωτερικό χώρο της σφαίρας είναι

$$U = \int_R^r 1/2\varepsilon_o (E(r))^2 dv = \int_R^r 1/2\varepsilon_o \left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{Q}{r^2}\right)^2 4\pi r^2 dr = \frac{Q^2}{8\pi\varepsilon_o}\int_R^r \frac{dr}{r^2} = \frac{Q^2}{8\pi\varepsilon_o}\left[-\frac{1}{r}\right]_R^r = \frac{1}{8\pi\varepsilon_o}\frac{Q^2}{R}$$

Είναι η ενέργεια U που καταναλώνεται για να φορτιστεί η σφαίρα στο φορτίο Q αποκτώντας δυναμικό

$$U = \frac{1}{2} Q\, V(R) = \frac{1}{2} Q \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{Q}{R} = \frac{1}{8\pi\varepsilon_o}\frac{Q^2}{R}$$

Αυτό το αποτέλεσμα επιβεβαιώνει πως η ενέργεια U που καταναλώνεται για να φορτιστεί η σφαίρα αποθηκεύεται σαν ενέργεια U του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργεί η φορτισμένη σφαίρα.

Που υπάρχει η ενέργεια στα φορτία ή στο ηλεκτρικό πεδίο;

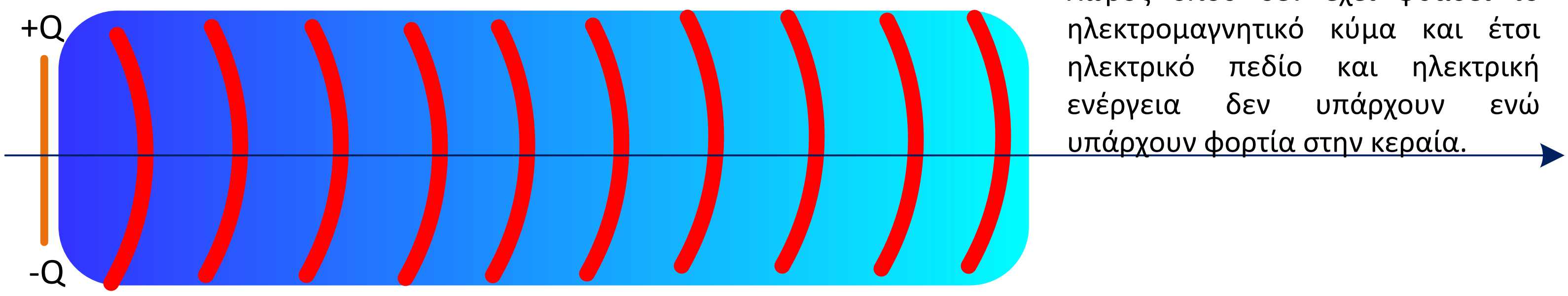
Η ενέργεια που χρειάστηκε για να για να υπερνικηθούν οι ηλεκτρικές απώσεις και να συναθροιστούν τα φορτία στην επιφάνεια της σφαίρας υπάρχει στα φορτία.

Όμως ενέργεια υπάρχει στο ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργεί στο χώρο το ηλεκτρικό φορτίο της φορτισμένης σφαίρας.

Τότε γεννάται το ερώτημα που υπάρχει η ενέργεια στα φορτία ή στο ηλεκτρικό πεδίο;

παλλόμενη ηλεκτρικό δίπολο (ηλεκτρική κεραία)

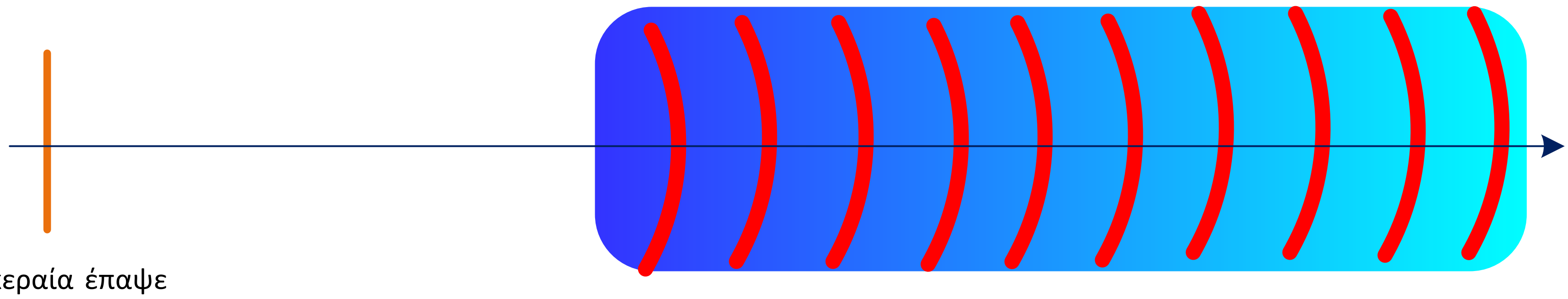
Διάδοση ηλεκτρικής ενέργειας παλλομένου ηλεκτρικού διπόλου



Χώρος όπου δεν έχει φθάσει το ηλεκτρομαγνητικό κύμα και έτσι ηλεκτρικό πεδίο και ηλεκτρική ενέργεια δεν υπάρχουν ενώ υπάρχουν φορτία στην κεραία.

παλλόμενη Ηλεκτρικό δίπολο (ηλεκτρική κεραία)

Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

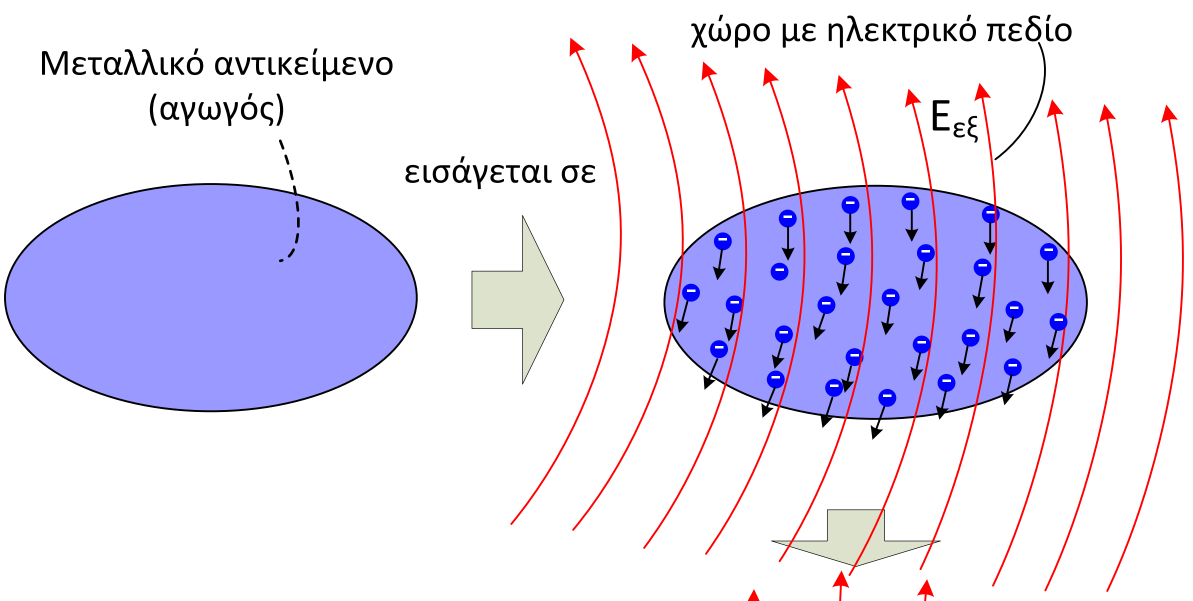


Η κεραία έπαψε να εκπέμπει.

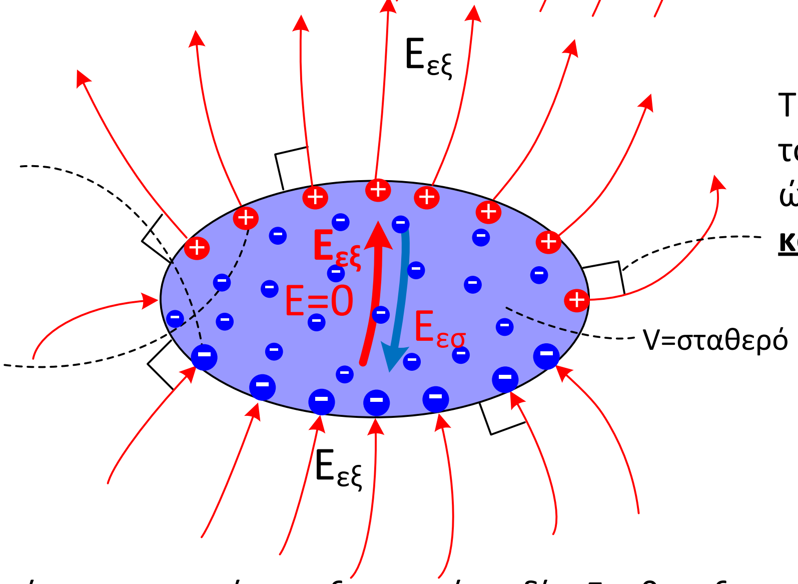
Χώρος όπου έχει ηλεκτρομαγνητικό κύμα και έτσι υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο και ηλεκτρική ενέργεια, ενώ φορτία στην κεραία δεν υπάρχουν πιά.

Άρα η ενέργεια περιέχεται στο ηλεκτρικό πεδίο

Τι συμβαίνει αν εισάγω μεταλλικό αντικείμενο (αγωγός) μέσα σε χώρο με ηλεκτρικό πεδίο



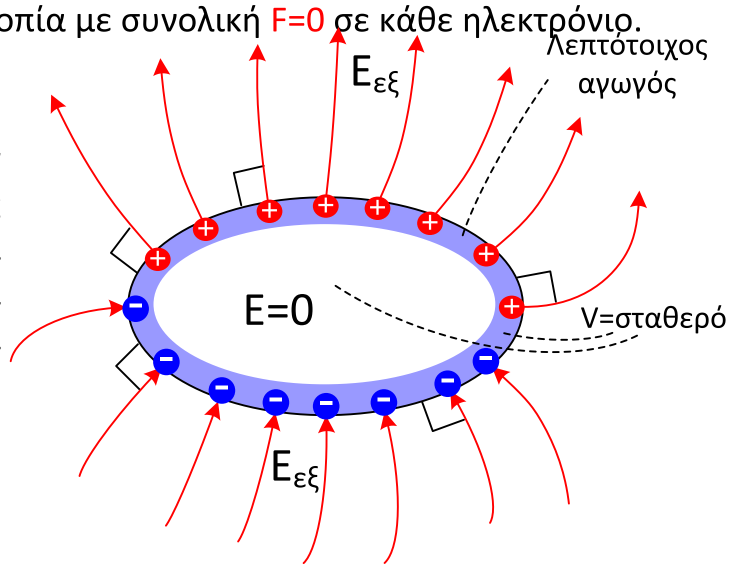
Στο εσωτερικό του αγωγού και σε κάθε ένα από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του αγωγού θα ασκηθεί παροδικά ηλεκτρική δύναμη $F=-eE_{εξ}$ προς τα κάτω, εξ αιτίας της οποίας τα ηλεκτρόνια θα κινηθούν για λίγο αστραπιαία προς τη κάτω πλευρά.



Έτσι επάγονται δηλαδή συσσωρεύονται ηλεκτρόνια και αρνητικό φορτίο στην κάτω πλευρά του αγωγού και έλλειμα ηλεκτρονίων ή περίσσεια θετικού φορτίου στην επάνω πλευρά και θα ισορροπίσουν.

Το ηλεκτρικό πεδίο $E_{εξ}$ γύρω από τον αγωγό θα τροποποιηθεί έτσι ώστε να τέμνει τον αγωγό **<u>πάντα κάθετα</u>**

Στο εσωτερικό του αγωγού το εξωτερικό πεδίο $E_{εξ}$ θα εξισορροπείται από το εσωτερικό πεδίο $E_{εο}$ και το συνολικό ηλεκτρικό πεδίο σχεδόν αστραπιαία θα γίνει $E=E_{εσ}+E_{εξ}=0$ στο εσωτερικό του αγωγού και θα υπάρξει ισορροπία με συνολική $F=0$ σε κάθε ηλεκτρόνιο.

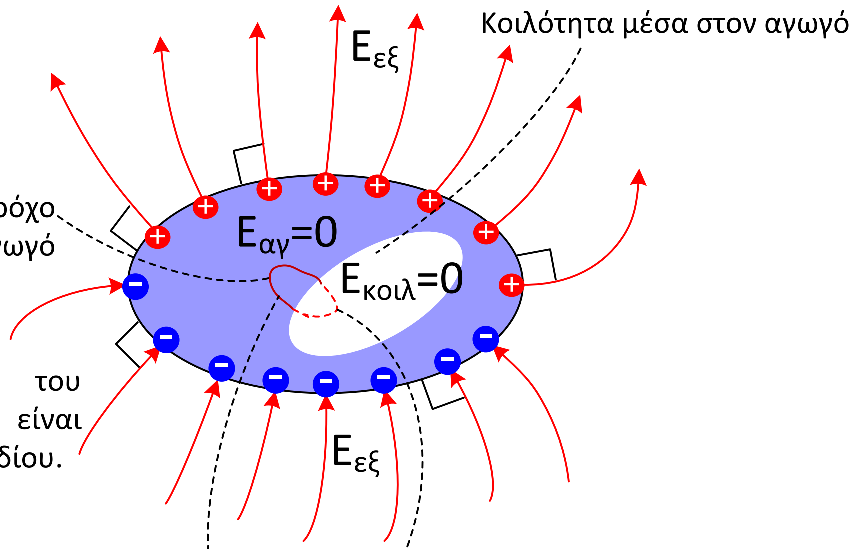


Τα ίδια ακριβώς θα συμβούν ακόμα και αν ακόμα ο αγωγός κούφιος με λεπτά τοιχώματα και με την επιφάνειά του να είναι κλειστή χωρίς κανένα άνοιγμα.

Φορτία θα επάγονται στην επιφάνεια του αγωγού τα οποία θα δημιουργούν πεδίο $E_{εσ}$ αντίθετο από το εξουδετερώνουν το εξωτερικό πεδίο $E_{εσ}=E_{εξ}=E$ και έτσι το ηλεκτρικό πεδίο στο τοίχωμα του αγωγού και στον κούφιο χώρο που περικλίει θα έχει ηλεκτρικό πεδίο E=0.

Θεωρώ τυχαίου σχήματος βρόχο που διέρχεται από τον αγωγό και την κοιλότητα.

Το επικαμπύλιο ολοκλήρωμα του ηλεκτρικού πεδίου E στο βρόχο είναι μηδέν, λόγω του συντηρητικού πεδίου.

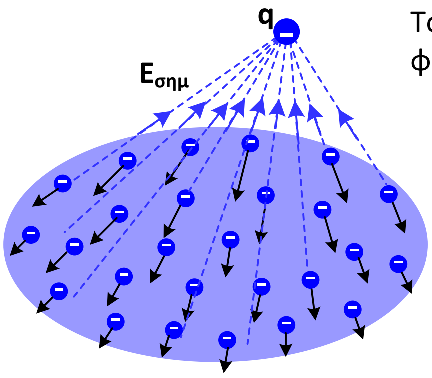


$$0=\int_{βρόχο} E\, dL = \underbrace{\int_{αγ} E_{αγ}\, dL}_{0,\ γιατί\ E_{αγ}=0} + \int_{κοιλ} E_{κοιλ}\, dL = 0 + \int_{κοιλ} E_{κοιλ}\, dL = 0$$

άρα $\int_{κοιλ} E_{κοιλ}\, dL = 0 \rightarrow E_{κοιλ} = 0$

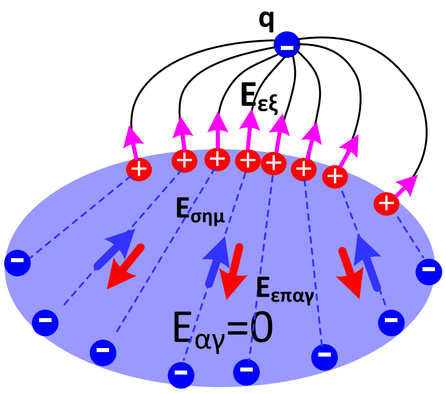
Επομένως το ηλεκτρικό πεδίο και στο εσωτερικό της κοιλότητας είναι μηδενικό και επομένως το δυναμικό είναι σταθερό παντου μέσα στον αγωγό.

Σημειακό φοορτίο εκτός του αγωγού



Τοποθετώντας αρνητικό σημειακό φορτίο κοντά στον αγωγό...

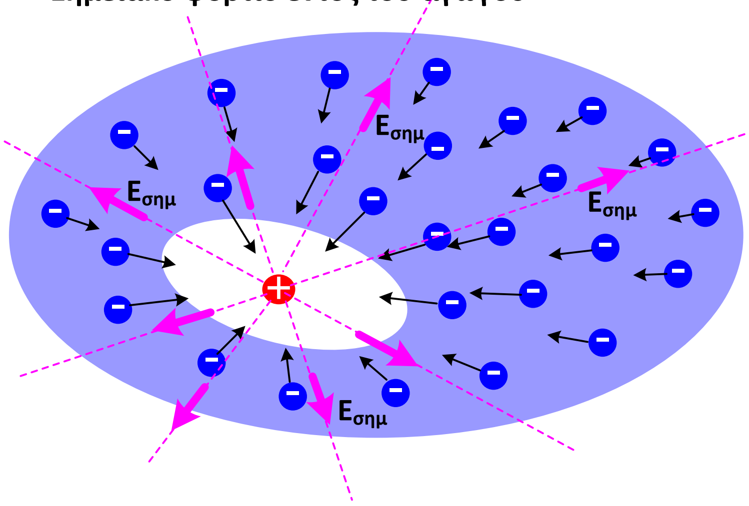
Στο εσωτερικό του αγωγού και σε κάθε ένα από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του αγωγού εξ αιτίας του ηλεκτρικού πεδίου $\mathbf{E_{σημ}}$ του σημειακού φορτίου θα ασκηθεί παροδικά ηλεκτρική δύναμη $\mathbf{F}=-e\mathbf{E_{σημ}}$ προς τα κάτω και έτσι τα ηλεκτρόνια θα κινηθούν για λίγο αστραπιαία προς τη κάτω πλευρά.



Λόγω της άπωσης των ελευθέρων ηλεκτρονίων από το σημειακό φορτίο επάγονται ή συσσωρεύονται ηλεκτρόνια και αρνητικό φορτίο στην κάτω πλευρά του αγωγού και επάγεται έλλειμα ηλεκτρονίων ή περίσσεια θετικού φορτίου στην επάνω πλευρά.

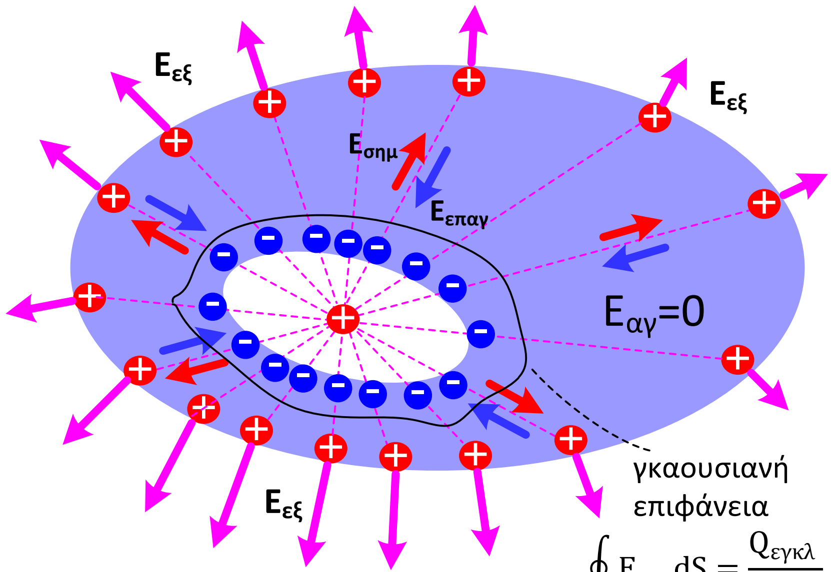
Τα επαγώμενα φορτία δημιουργούν ηλεκτρικό πεδίο $\mathbf{E_{επαγ}}$ αντίθετο από αυτό του σημειακού φορτίου $\mathbf{E_{επαγ}}=-\mathbf{E_{σημ}}$ και έτσι το ηλεκτρικό πεδίο $E_{αγ}$ μέσα στον αγωγό θα είναι μηδέν.

Σημειακό φορτίο εντός του αγωγού



Αν ο αγωγός έχει μια κοιλότοιτα τότε μπρούμε να τοποθετήσουμε ένα σημειακό φορτίο +Q μέσα στη κοιλότητα του αγωγού. Τότε θα συμβούν τα εξής.

Με το που τοποθετείται το σημειακό φορτίο στη κοιλότητα του αγωγού, τότε σε κάθε ένα από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του αγωγού εξ αιτίας του ηλεκτρικού πεδίου $\mathbf{E}_{σημ}$ του σημειακού φορτίου θα ασκηθεί παροδικά ελκτική ηλεκτρική δύναμη $\mathbf{F}=-e\mathbf{E}_{σημ}$ προς το εσωτερικό τοίχωμα της κοιλότητας.



Λόγω της έλξης των ελευθέρων ηλεκτρονίων από το σημειακό φορτίο επάγονται ή συσσωρεύονται ηλεκτρόνια και αρνητικό φορτίο -Q στην εσωτερική επιφάνεια της κοιλότητας και επάγεται έλλειμα ηλεκτρονίων ή περίσσεια θετικού φορτίου +Q Στην εξωτερική επιφάνεια του αγωγού.

Το επαγώμενο φορτίο στην επιφάνεια της κοιλότητας είναι -q γιατί: Αν θεωρήσω μια γκαουσιανή επιφάνεια μέσα στο εσωτερικό του αγωγού που περικλέιει τη κοιλότητα, τότε ο νόμος του Gauss γράφεται:

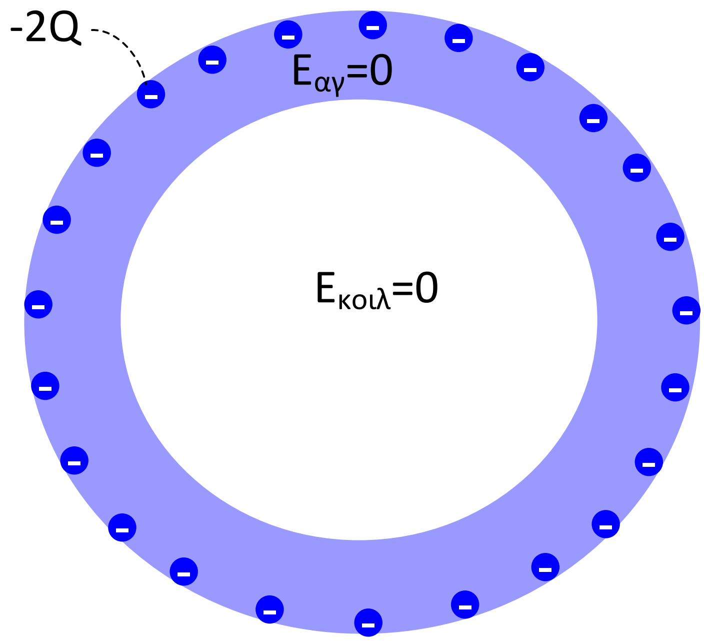
$$\oint E_{αγ}\, dS = \frac{Q_{εγκλ}}{ε_o} = \frac{Q + Q_{επαγ}}{ε_o}$$

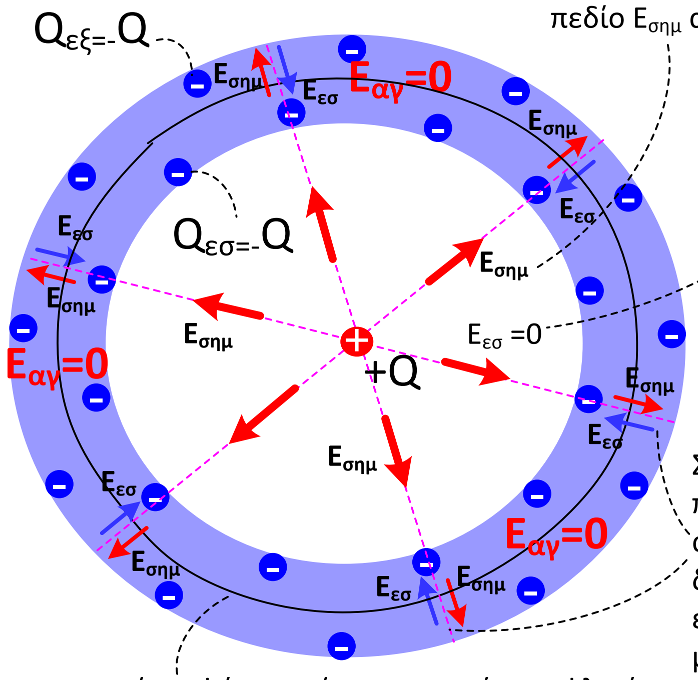
Επειδή στο εσωτερικό του αγωγού είναι $E_{αγ}=0$, τότε: $\oint E_{αγ}\, dS = 0$

Επομένως το εγκλισμένο συνολικό φορτίο μέσα στη γκαουσιανή επιφάνεια είναι: $Q_{εγκλ} = Q + Q_{επαγ} = 0$ ή $Q_{επαγ} = -Q$

Τα επαγώμενα φορτία στη επιφάνεια της κοιλότητας και στην εξωτερική επιφάνεια του αγωγού δημιουργούν το επαγώμενο ηλεκτρικό πεδίο $\mathbf{E}_{επαγ}$ το οποίο είναι αντίθετο από αυτό του σημειακού φορτίου $\mathbf{E}_{επαγ}=-\mathbf{E}_{σημ}$ και έτσι το ηλεκτρικό πεδίο $E_{αγ}$ μέσα στον αγωγό θα είναι μηδέν $E_{αγ}=0$.

Σφαιρικός φλοιός εξωτερικής ακτίνας $R_{εξ}$ και εσωτερικής ακτίνας $R_{εσ}$ είναι φορτισμένος σε φόρτιο -2Q. Στο κέντρο του σφαιρικού φλοιού τοποθετούμε σημειακό φορτίο +Q. Να βρεθεί το ηλεκτρικό πεδίο στο εσωτερικό και στον εξωτερικό χώρο του σφαιρικού φλοιού.





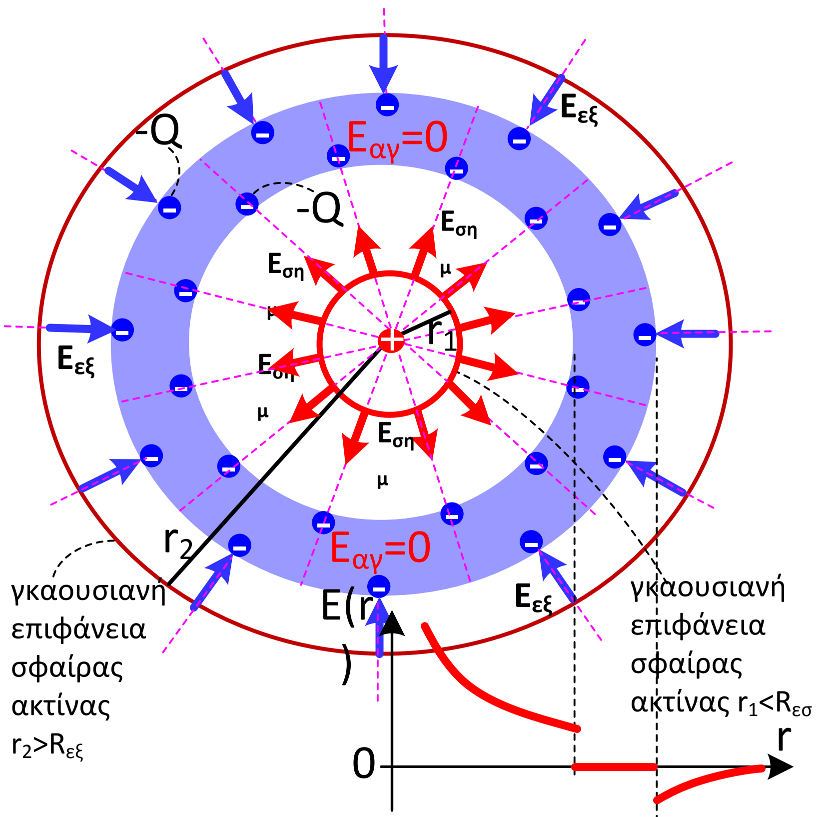
Στην κοιλότητα r<$R_{Εσ}$ μόνο το ηλεκτρικό πεδίο $E_{σημ}$ από το σημειακό φορτίο υπάρχει.

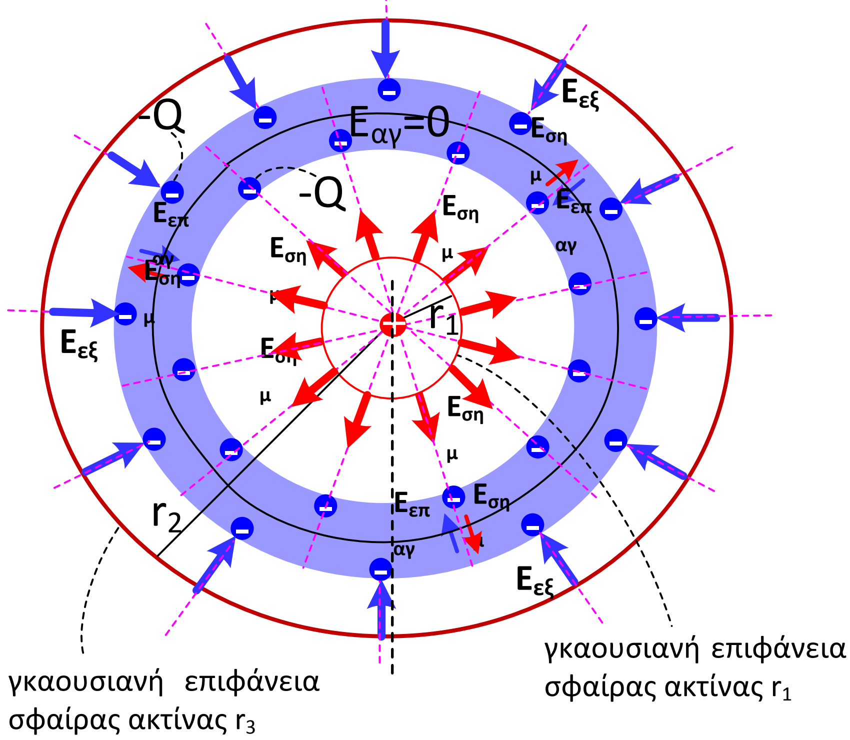
Το ηλεκτρικό πεδίο $E_{εσ}$ από το φορτίο $Q_{εσ}$ ομοιόμορφα διασκορπισμένο στην εσωτερική επιφάνεια της κοιλότητας είναι μηδέν $E_{εσ}$=0 στην επιφάνεια της κοιλότητας και στο εσωτερικό για r≤$R_{εσ}$.

Παρόμοια το ηλεκτρικό πεδίο $E_{εξ}$ από το φορτίο $Q_{εξ}$ ομοιόμορφα διασκορπισμένο στην εξωτερική επιφάνεια του φλοιού είναι μηδέν $E_{εσ}$=0 r<$R_{εξ}$ μέσα στο φλοιό και στη κοιλότητα.

Στον χώρο του αγώγιμου φλοιού το ηλεκτρικό πεδίο $E_{σημ}$ από το σημειακό φορτίο αντισταθμίζεται από το ηλεκτρικό πεδίο $E_{εσ}$ του δημιουργεί το φορτίο $Q_{εσ}$ στην εσωτερική επιφάνεια της κοιλότητας δημιουργώντας μηδενικό συνολικό ηλεκτρικό πεδίο τον αγωγό $E_{αγ}$=0 για να υπάρχει ισορροπία.

γκαουσιανή επιφάνεια μέσα στον αγώγιμο φλοιό





Η γραφική παράσταση του ηλεκτρικού πεδίου μέσα και έξω από τον αγωγό.

Τυχών ηλεκτρικό πεδίο Ε μπορεί να διαπερνά τους μονωτές.

Τα παραπάνω συμβαίνουν στους μονωτές γιατί οι ελεύθερες οπές και ηλεκτρόνια είναι πάρα πού λίγα και επιπλέον πολύ δύσκολα μπορούν να κινηθούν ώστε να εξουδετερώσουν τυχών περίσεια ηλεκτρικού φορτίου ή να εξουδετερώσουν κάποιο εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο.