

Κεφάλαιο 23

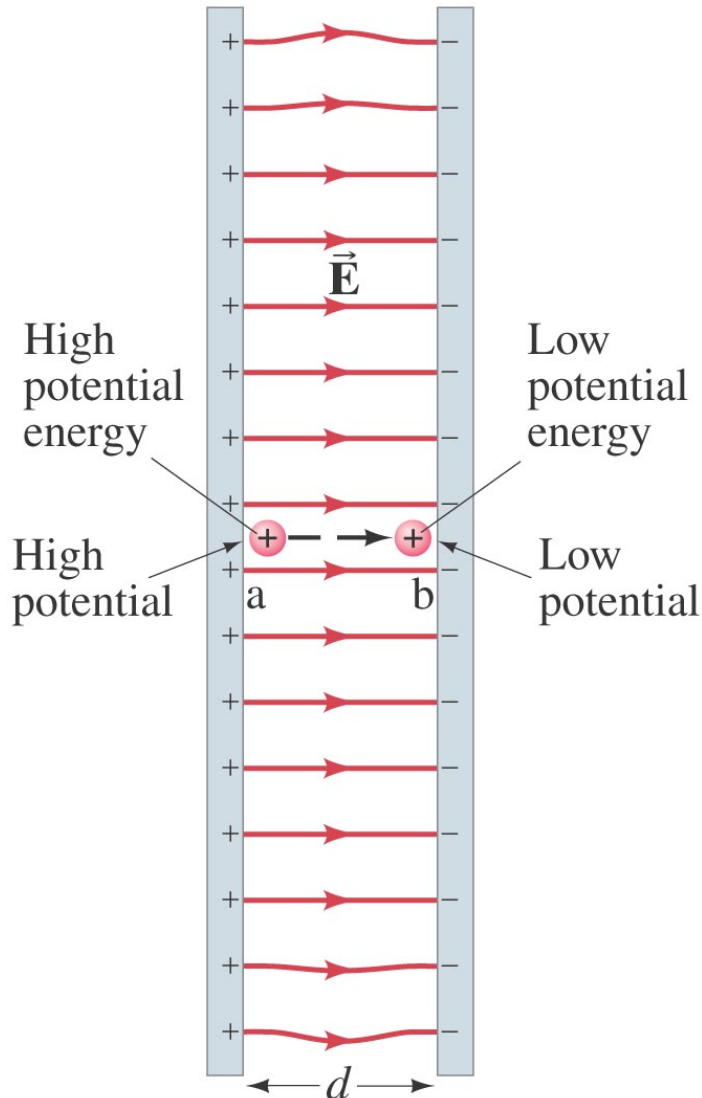
Ηλεκτρικό Δυναμικό



Περιεχόμενα Κεφαλαίου 23

- Διαφορά Δυναμικού-Δυναμική Ενέργεια
- Σχέση Ηλεκτρικού Πεδίου και Ηλεκτρικού Δυναμικού
- Ηλεκτρικό Δυναμικό Σημειακών Φορτίων
- Δυναμικό Κατανομής Φορτίων
- Ισοδυναμικές Επιφάνειες
- Δυναμικό Ηλεκτρικού Διπόλου
- Προσδιορισμός του $\vec{E}$ από V ($\dot{\eta}$ Φ)
- Ηλεκτροστατική ενέργεια
- Καθοδικός Σωλήνας-Οθόνες Παλιάς κοπής

23-1 Διαφορά δυναμικού



Η Ηλεκτροστατική Δύναμη είναι συντηρητική – δύναται να οριστεί η δυναμική ενέργεια.

Η **μεταβολή** στην Ηλεκτρική Δυναμική Ενέργεια είναι το αντίθετο του έργου της ηλεκτρικής δύναμης :

$$U_b - U_a = -W = -qEd.$$

23-1 Διαφορά δυναμικού

Το **Ηλεκτρικό Δυναμικό V** (Συμβολίζεται και Φ) (Τάση) ορίζεται ως η δυναμική ενέργεια ανά μονάδα φορτίου

$$V_a = \frac{U_a}{q}$$

Μονάδα Ηλεκτροστατικού Δυναμικού είναι: το volt (V):

$$1 \text{ V} = 1 \text{ J/C.}$$

23-1 Ηλεκτροστατική Δυναμική

Ενέργεια-Διαφορά δυναμικού

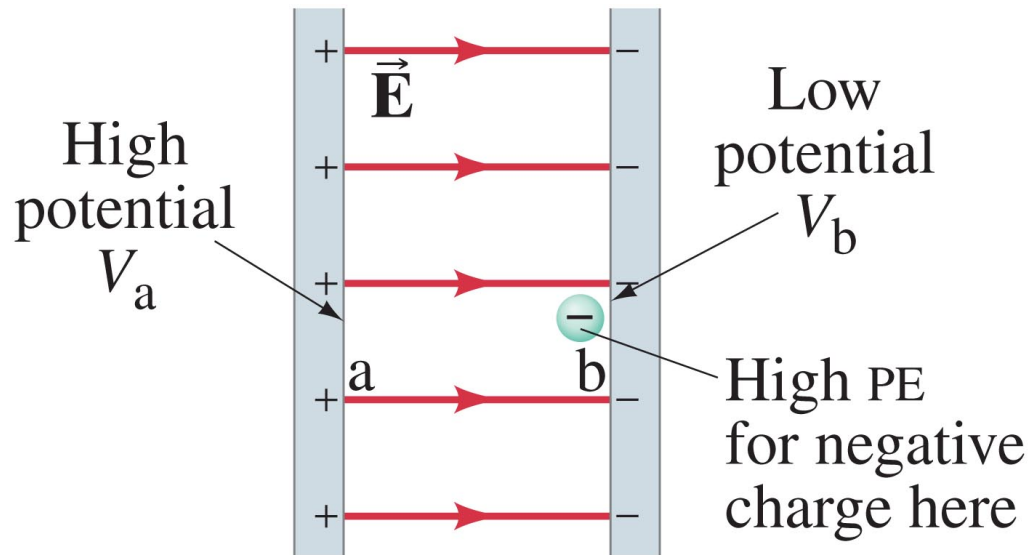
Επειδή μόνο διαφορές δυναμικού δύναται να μετρηθούν, εάν ορίσουμε $V = 0$:

$$V_{ba} = \Delta V = V_b - V_a = \frac{U_b - U_a}{q} = -\frac{W_{ba}}{q}.$$

23-1 Ηλεκτροστατική Δυναμική

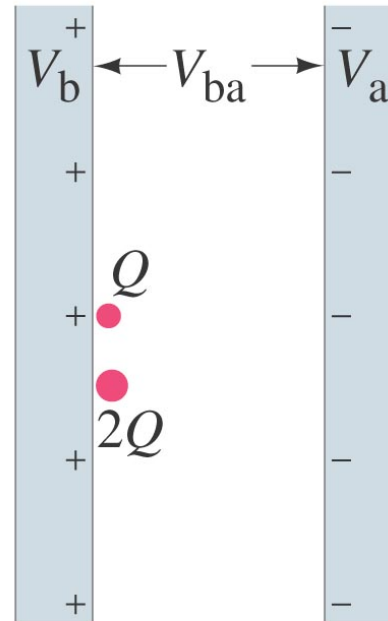
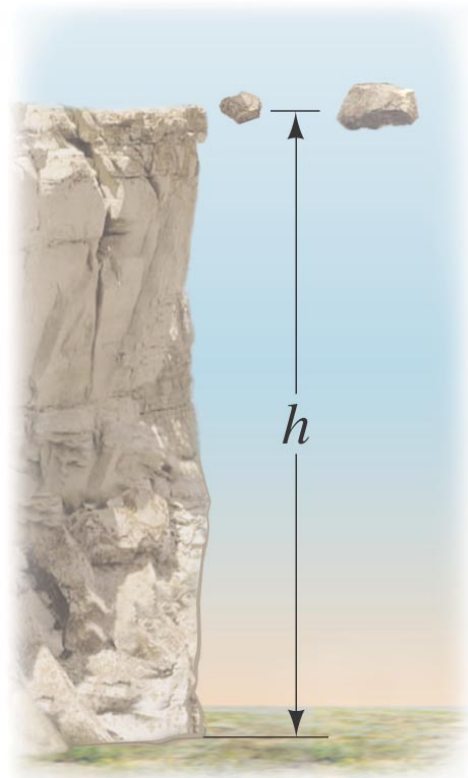
Ενέργεια-Διαφορά δυναμικού

Υποθέστε ένα αρνητικό φορτίο, π.χ. ένα ηλεκτρόνιο, τοποθετείται πλησίον ενός αρνητικού οπλισμού στο σημείο b, βλέπε σχήμα. Εάν τα ηλεκτρόνιο μετακινηθεί τι συνέπειες έχει για την ηλεκτροστατική του δυναμική ενέργεια; Αλλάζει το ηλεκτρικό δυναμικό;



23-1 Ηλεκτροστατική Δυναμική Ενέργεια-Διαφορά δυναμικού

Αναλογίες μεταξύ ηλεκτρικής και βαρυτικής
δυναμικής ενέργειας :



23-1 Ηλεκτροστατική Δυναμική

Ενέργεια-Διαφορά Δυναμικού

Οι «πηγές ηλεκτρισμού» π.χ. μπαταρίες τροφοδοτικά, παρέχουν κάποια «σταθερή» διαφορά δυναμικού. Στον Πίνακα αναφέρονται ορισμένες τιμές τέτοιων «δυναμικών»:

TABLE 23–1 Some Typical Potential Differences (Voltages)

Source	Voltage (approx.)
Thundercloud to ground	10^8 V
High-voltage power line	$10^5\text{--}10^6 \text{ V}$
Power supply for TV tube	10^4 V
Automobile ignition	10^4 V
Household outlet	10^2 V
Automobile battery	12 V
Flashlight battery	1.5 V
Resting potential across nerve membrane	10^{-1} V
Potential changes on skin (EKG and EEG)	10^{-4} V

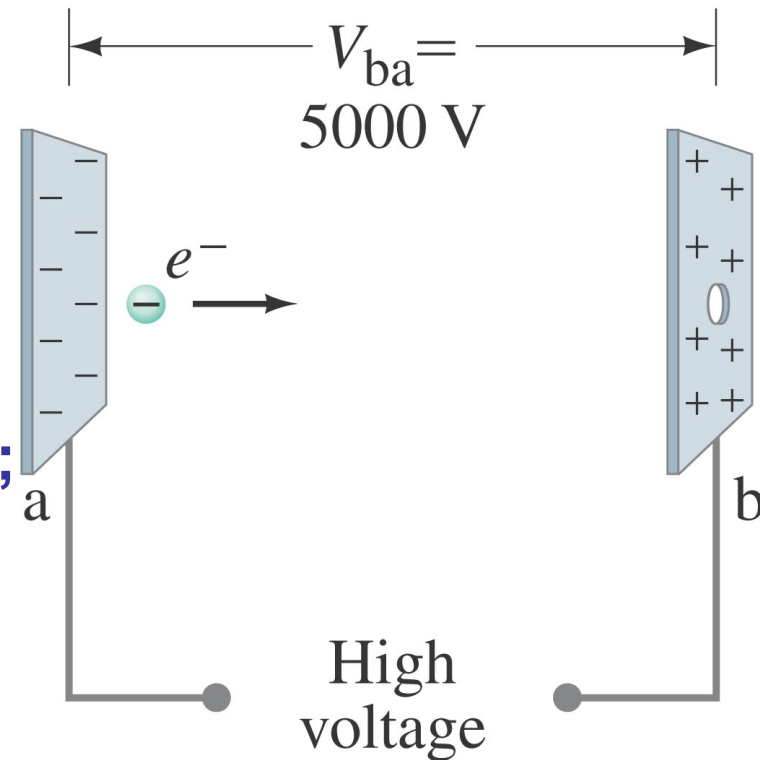
23-1 Ηλεκτροστατική Δυναμική

Ενέργεια-Διαφορά Δυναμικού

Example 23-2: Electron in Cathode Ray Tube (CRT).

Ένα ηλεκτρόνιο σε ένα καθοδικό σωλήνα (CRT) επιταχύνεται από ακινησία εξ αιτίας μιας διαφοράς δυναμικού $V_b - V_a = V_{ba} = +5000 \text{ V}$. (α) Πόσο μεταβάλλεται η δυναμική ενέργεια του ηλεκτρονίου; (β) Βρείτε την τελική ταχύτητα του ηλεκτρονίου ($m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$)

ΛΥΣΗ



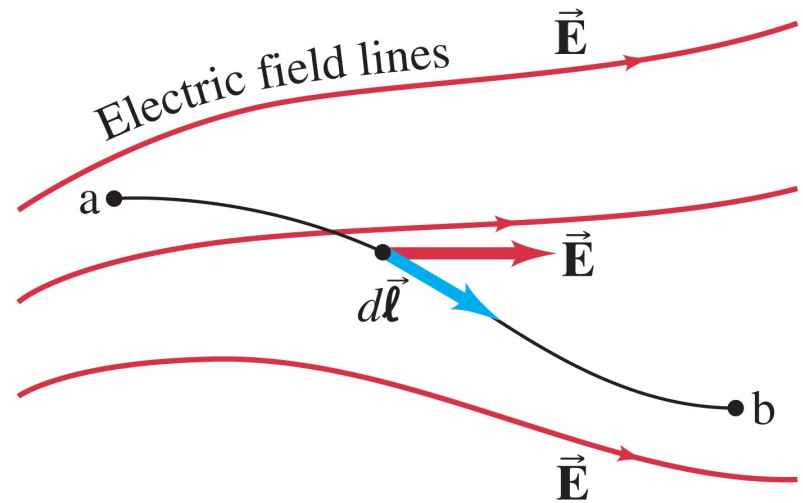
23-2 Σχέση Ηλεκτρικού Δυναμικού και Ηλεκτρικού Πεδίου

Στη μηχανική, για μια συντηρητική δύναμη, ισχύει η σχέση:

$$U_b - U_a = - \int_a^b \vec{\mathbf{F}} \cdot d\vec{\ell}.$$

Κατ' αναλογία στην ηλεκτροστατική ισχύει:

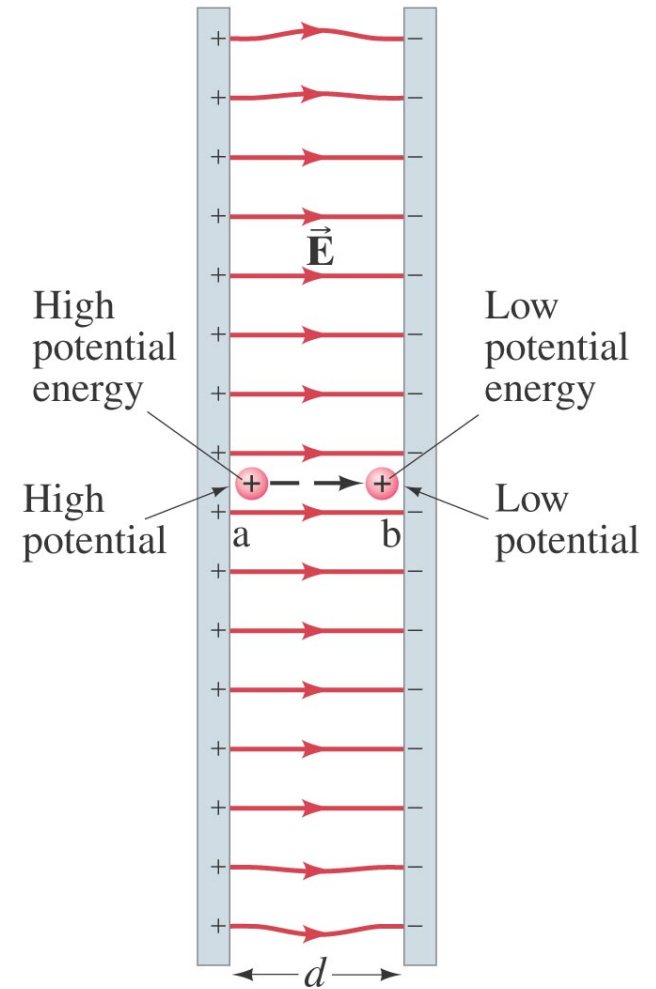
$$V_{ba} = V_b - V_a = - \int_a^b \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\ell}.$$



23-2 Σχέση Ηλεκτρικού Δυναμικού και Ηλεκτρικού Πεδίου

Για ομογενές Ηλεκτρικό Πεδίο:

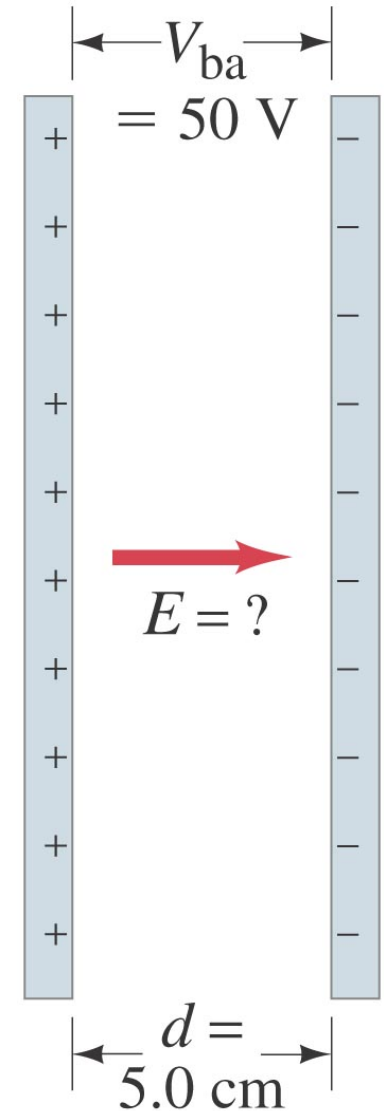
$$V_{ba} = -Ed$$



23-2 Σχέση Ηλεκτρικού Δυναμικού και Ηλεκτρικού Πεδίου

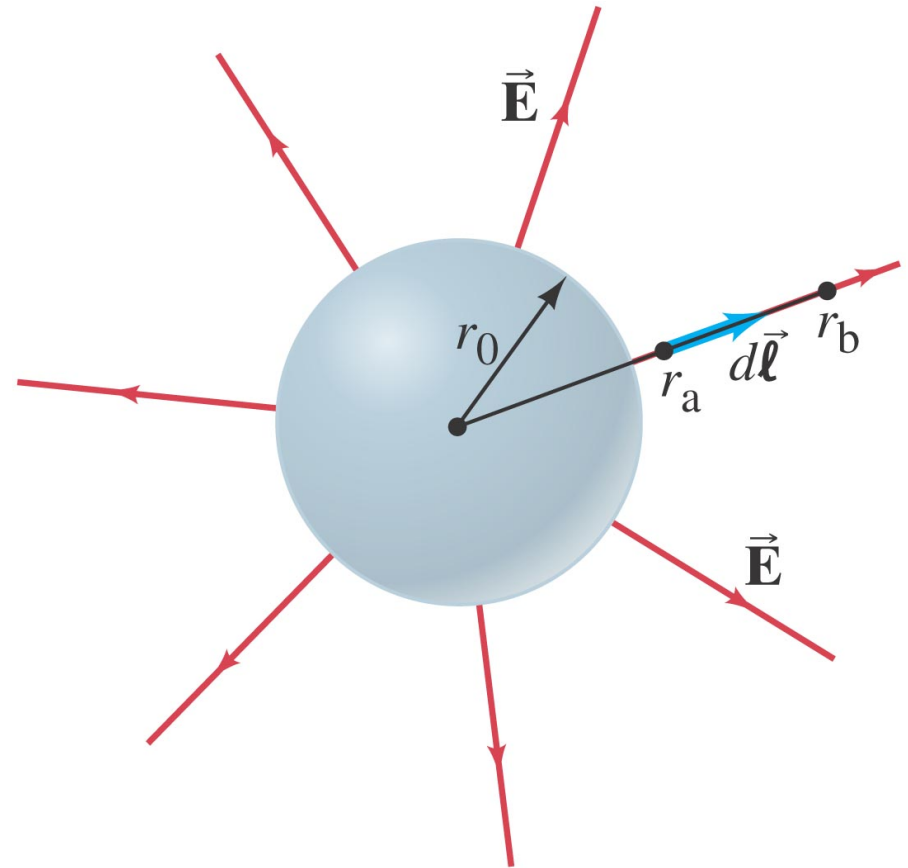
Δύο παράλληλες πλάκες έχουν διαφορά δυναμικού 50 V. Εάν η απόστασή τους είναι 0.050 m, βρείτε το πεδίο που δημιουργείται μεταξύ των πλακών

ΛΥΣΗ



23-2 Σχέση Ηλεκτρικού Δυναμικού και Ηλεκτρικού Πεδίου

Βρείτε το δυναμικό για μια ομοιόμορφα φορτισμένη αγωγίμη σφαίρα (r_0) με ακτίνα σε απόσταση r από το κέντρο της σφαίρας για τις περιπτώσεις (α) $r > r_0$, (β) $r = r_0$, (γ) $r < r_0$. Το συνολικό φορτίο είναι Q .



APPROACH The charge Q is distributed over the surface of the sphere since it is a conductor. We saw in Example 22-3 that the electric field outside a conducting sphere is

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \quad [r > r_0]$$

and points radially outward (inward if $Q < 0$). Since we know $\vec{E}$, we can start by using Eq. 23-4a.

SOLUTION (a) We use Eq. 23-4a and integrate along a radial line with $d\vec{\ell}$ parallel to $\vec{E}$ (Fig. 23-7) between two points which are distances r_a and r_b from the sphere's center:

$$V_b - V_a = - \int_{r_a}^{r_b} \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = - \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \int_{r_a}^{r_b} \frac{dr}{r^2} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_b} - \frac{1}{r_a} \right)$$

and we set $d\ell = dr$. If we let $V = 0$ for $r = \infty$ (let's choose $V_b = 0$ at $r_b = \infty$), then at any other point r (for $r > r_0$) we have

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r}. \quad [r > r_0]$$

We will see in the next Section that this same equation applies for the potential a distance r from a single point charge. Thus the electric potential outside a spherical conductor with a uniformly distributed charge is the same as if all the charge were at its center.

(b) As r approaches r_0 , we see that

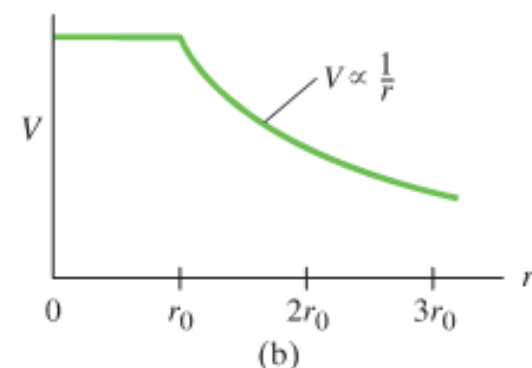
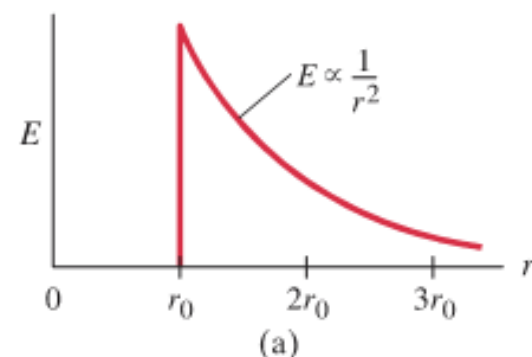
$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r_0} \quad [r = r_0]$$

at the surface of the conductor.

(c) For points within the conductor, $E = 0$. Thus the integral, $\int \vec{E} \cdot d\vec{\ell}$, between $r = r_0$ and any point within the conductor gives zero change in V . Hence V is constant within the conductor:

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r_0}. \quad [r \leq r_0]$$

The whole conductor, not just its surface, is at this same potential. Plots of both E and V as a function of r are shown in Fig. 23-8 for a positively charged conducting sphere.



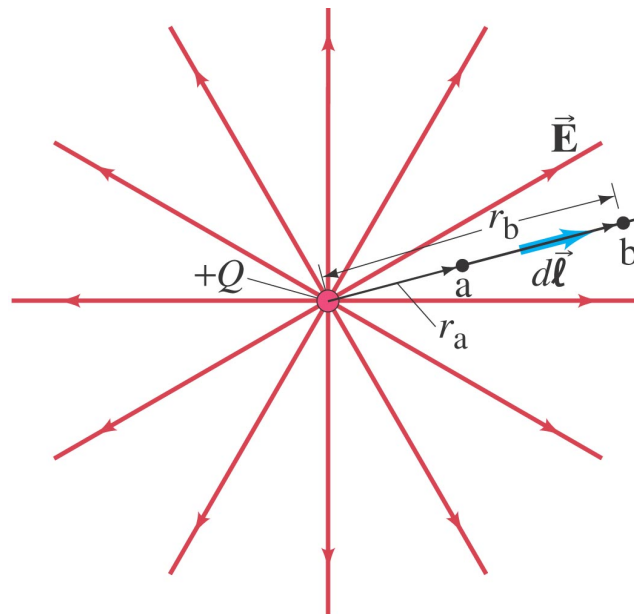
Example 23-5: Breakdown voltage (Τάση Εκκένωσης, βραχυκύκλωμα) .

Συχνά σε πολλές εφαρμογές χρησιμοποιούμε υψηλή τάση. Ένα πρόβλημα της υψηλής τάσεως παρουσιάζεται όταν το ηλεκτρικό πεδίο γίνει ικανό να «ιοντίσει» τον αέρα. Αυτό συνήθως συμβαίνει λόγω τις επιτάχυνσης των ελευθέρων ηλεκτρονίων που βρίσκονται στον αέρα (σε πολύ χαμηλή συγκέντρωση και τα οποία δημιουργούνται από την κοσμική ακτινοβολία για παράδειγμα), με αποτέλεσμα τα ηλεκτρόνια αυτά να έχουν αρκετή ενέργεια ώστε κατά τη διάρκεια κρούσεων με τα μόρια του αέρα να μπορούν να τα ιοντίσουν. Αυτό έχει σαν συνέπεια ο αέρας να γίνεται «αγώγιμος» λόγω της παρουσίας φορτίων, και έχουμε βραχυκύκλωμα, εκκένωση. Η ένταση του πεδίου που απαιτείται για την ηλεκτρική εκκένωση του αέρα είναι περίπου $3.0 \times 10^6 \text{ V/m}$. (a) Δείξτε ότι η τάση εκκένωσης για ένα σφαιρικό αγωγό σε αέρα είναι ανάλογη της ακτίνας του αγωγού και (b) βρείτε την τάση αυτή εάν η διάμετρος είναι 1.0 cm.

23-3 Ηλεκτρικό Δυναμικό σημειακών φορτίων

Για να βρούμε το ηλεκτρικό δυναμικό ενός σημειακού φορτίου, ολοκληρώνουμε κατά μήκος των γραμμών του πεδίου:

$$V_b - V_a = - \int_{r_a}^{r_b} \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\ell} = - \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \int_{r_a}^{r_b} \frac{1}{r^2} dr = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{Q}{r_b} - \frac{Q}{r_a} \right).$$

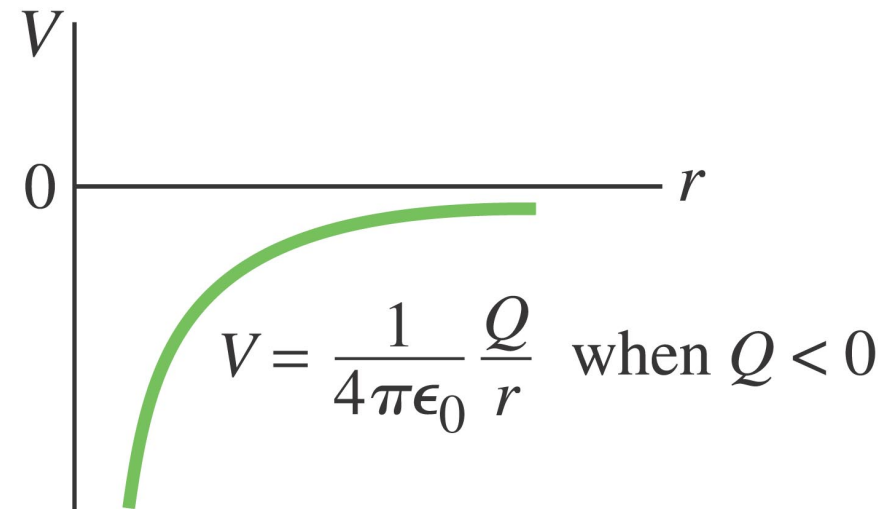
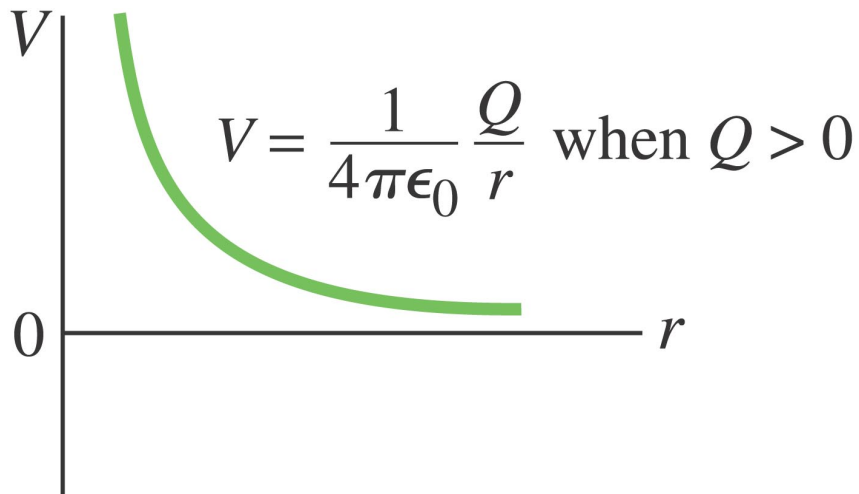


23-3 Ηλεκτρικό Δυναμικό σημειακών φορτίων

Θέτοντας το δυναμικό ίσο με μηδέν στο $r = \infty$ βρίσκουμε:

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r}.$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{single point charge;} \\ V = 0 \text{ at } r = \infty \end{array} \right]$$



Space Charge (Φορτίο Χώρου)

Βρείτε το έργο που απαιτείται από μια εξωτερική δύναμη ώστε ένα φορτίο $q = 3.00 \mu\text{C}$ να μεταφερθεί από πολύ μακριά ($r = \infty$) στο σημείο 0.500 m από το φορτίο $Q = 20.0 \mu\text{C}$?

ΛΥΣΗ

23-4 Ηλεκτρικό δυναμικό για Κατανομή Φορτίων

Για οποιαδήποτε κατανομή φορτίων το δυναμικό εκφράζεται ως άθροισμα ή ολοκλήρωμα (όταν έχουμε συνεχή κατανομή)

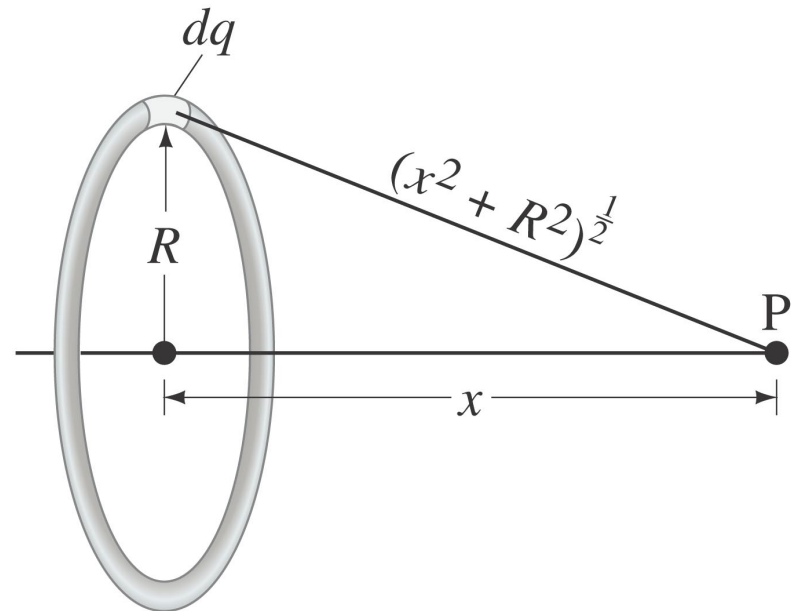
$$V_a = \sum_{i=1}^n V_i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{r_{ia}}.$$

ή

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dq}{r}.$$

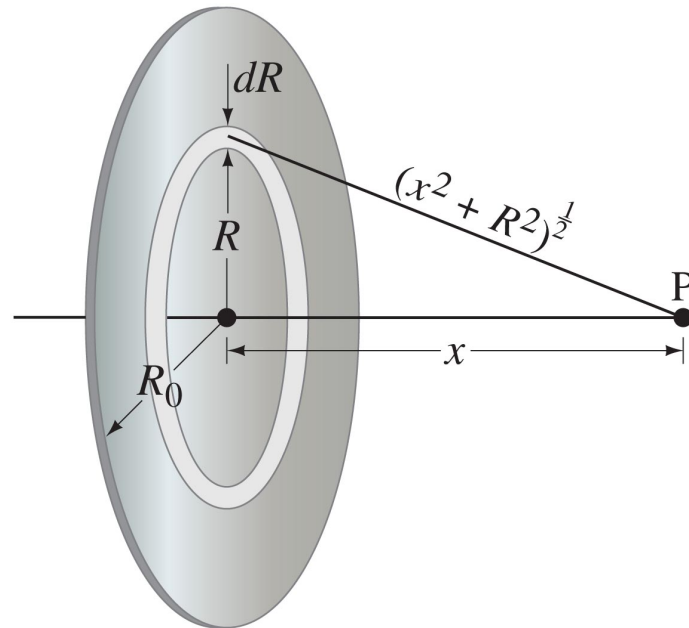
Ένα λεπτό δακτυλίδι ακτίνας R φέρει ομοιόμορφο φορτίο Q . Βρείτε το δυναμικό σε σημείο P που βρίσκεται πάνω στο άξονα συμμετρίας του δακτυλιδιού σε απόσταση x από το κέντρο του.

ΛΥΣΗ

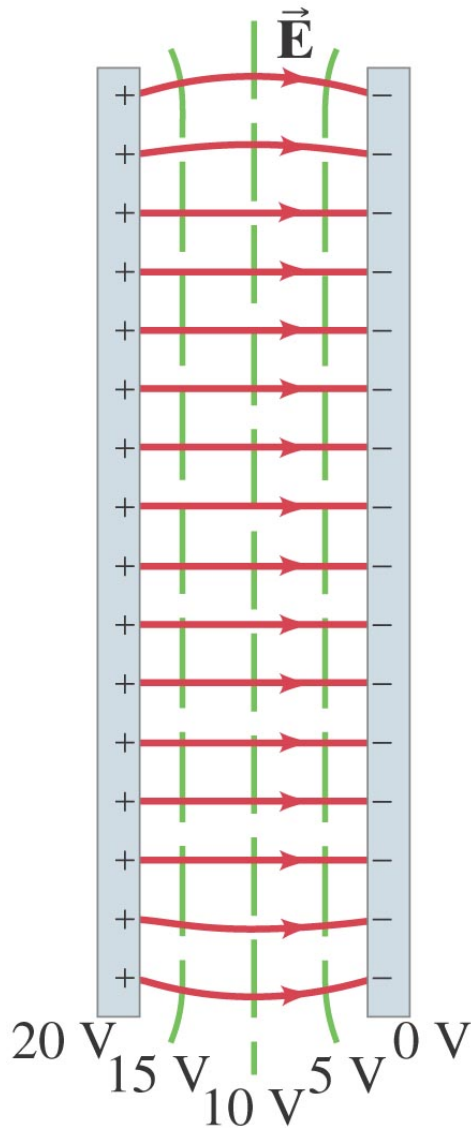


Επαναλαμβάνουμε το προηγούμενο παράδειγμα αλλά για δίσκο

ΛΥΣΗ



23-5 Ισοδυναμικές Επιφάνειες

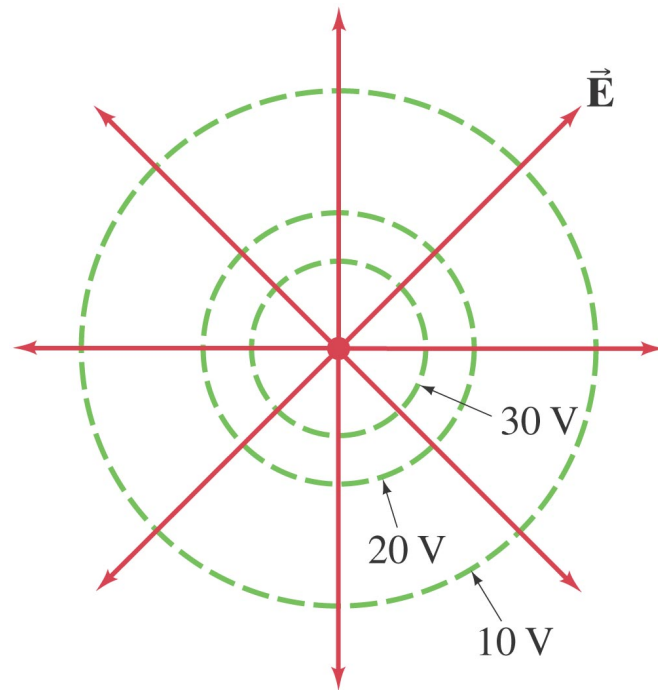


Έχουν το ίδιο δυναμικό
ονομάζονται ισοδυναμικές
επιφάνειες.

Οι ισοδυναμικές
επιφάνειες είναι **ΚΑΘΕΤΕΣ**
στις γραμμές του πεδίου

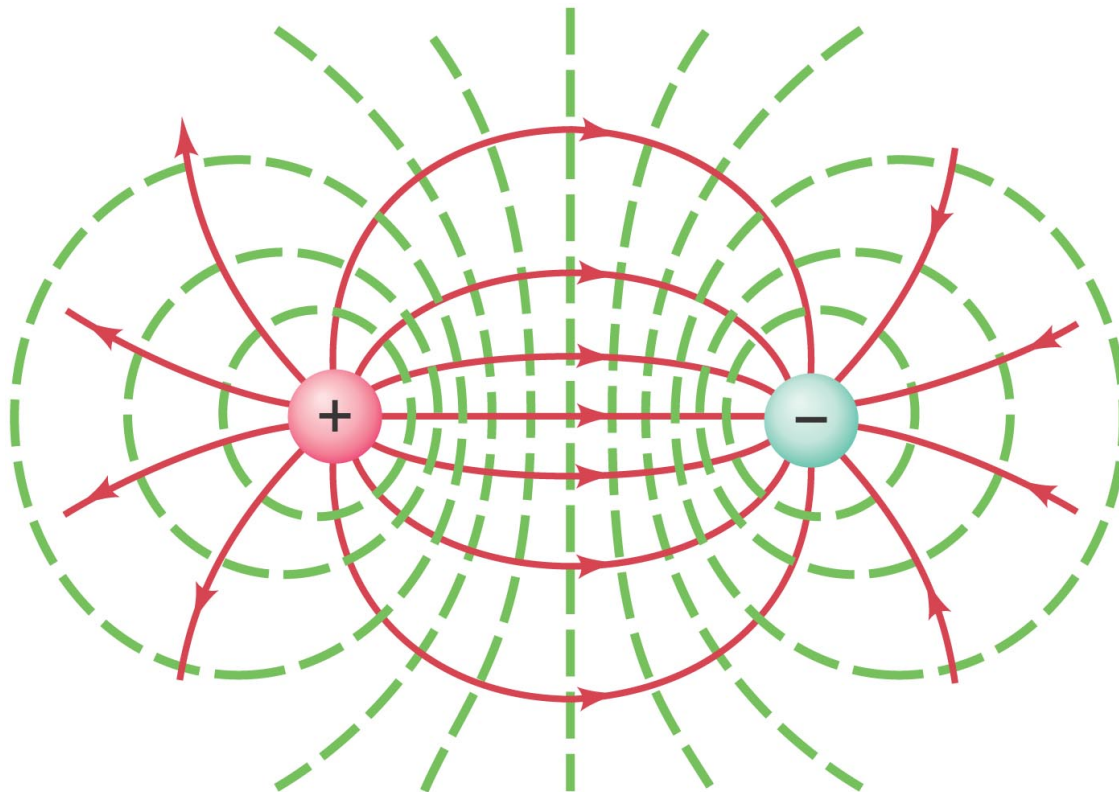
Η επιφάνεια ενός αγωγού
αποτελεί μια ισοδυναμική
επιφάνεια.

Για φορτίο $Q = 4.0 \times 10^{-9} \text{ C}$,
σχεδιάστε τις δυναμικές
επιφάνειες με $V_1 = 10 \text{ V}$, $V_2 = 20 \text{ V}$,
και $V_3 = 30 \text{ V}$.



23-5 Ισοδυναμικές επιφάνειες

Η ισοδυναμικές επιφάνειες είναι **ΠΑΝΤΑ ΚΛΕΙΣΤΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ**, σε αντίθεση με τις γραμμές πεδίου που αρχίζουν και τελειώνουν σε φορτία



23-5 Ισοδυναμικές επιφάνειες

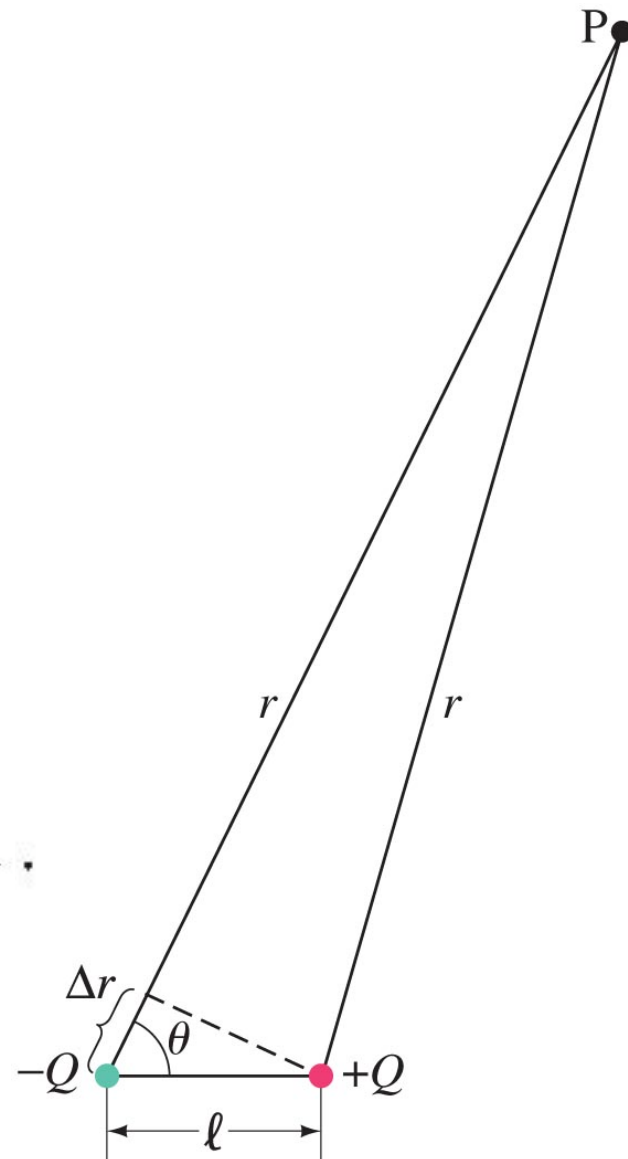
Η αναλογία με το βαρυτικό πεδίο είναι η υψομετρικές επιφάνειες σε ένα τοπογραφικό χάρτη..



23-6 Δυναμικό Ηλεκτρικού Διπόλου

Το ηλεκτρικό δυναμικό ενός διπόλου είναι το άθροισμα των δυναμικών των δύο φορτίων. Για μεγάλες αποστάσεις σε σχέση με τη διάσταση του διπόλου (απόσταση φορτίων) :

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q\ell \cos \theta}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p \cos \theta}{r^2}.$$



23-7 Προσδιορισμός του $\vec{E}$ από το V

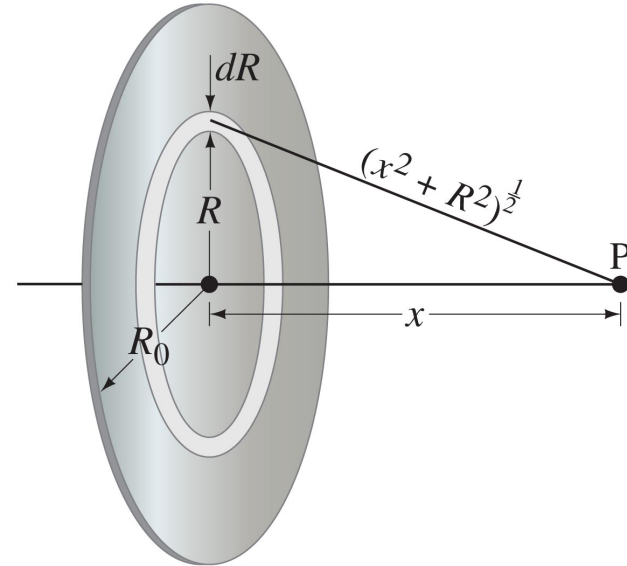
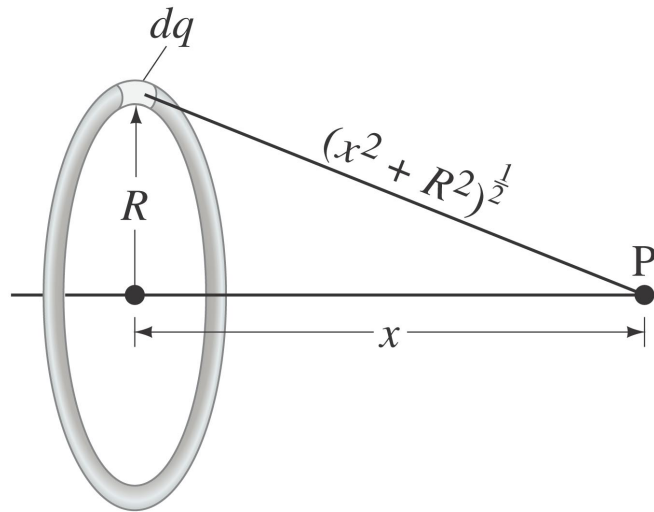
Εάν γνωρίζουμε το πεδίο με ολοκλήρωση βρίσκουμε το δυναμικό. Με την αντίστροφη διαδικασία μπορούμε με **παραγοντοποίηση** να βρούμε το πεδίο εάν γνωρίζουμε το δυναμικό:

$$E_\ell = - \frac{dV}{d\ell}.$$

Μιας και το πεδίο είναι διάνυσμα εφαρμόζουμε την παραπάνω σχέση για κάθε συνιστώσα:

$$E_x = - \frac{\partial V}{\partial x}, \quad E_y = - \frac{\partial V}{\partial y}, \quad E_z = - \frac{\partial V}{\partial z}.$$

Από τις εξισώσεις των δυναμικών για το φορτισμένο δακτυλίδι και δίσκο βρείτε τα ηλεκτρικά πεδία



ΛΥΣΗ

23-8 Ηλεκτρική Δυναμική Ενέργεια

Η δυναμική ενέργεια ενός φορτίου σε ένα πεδίο είναι:

$$U = qV.$$

Η δυναμική ενέργεια δύο φορτίων είναι :

$$U = Q_2 V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r_{12}}.$$

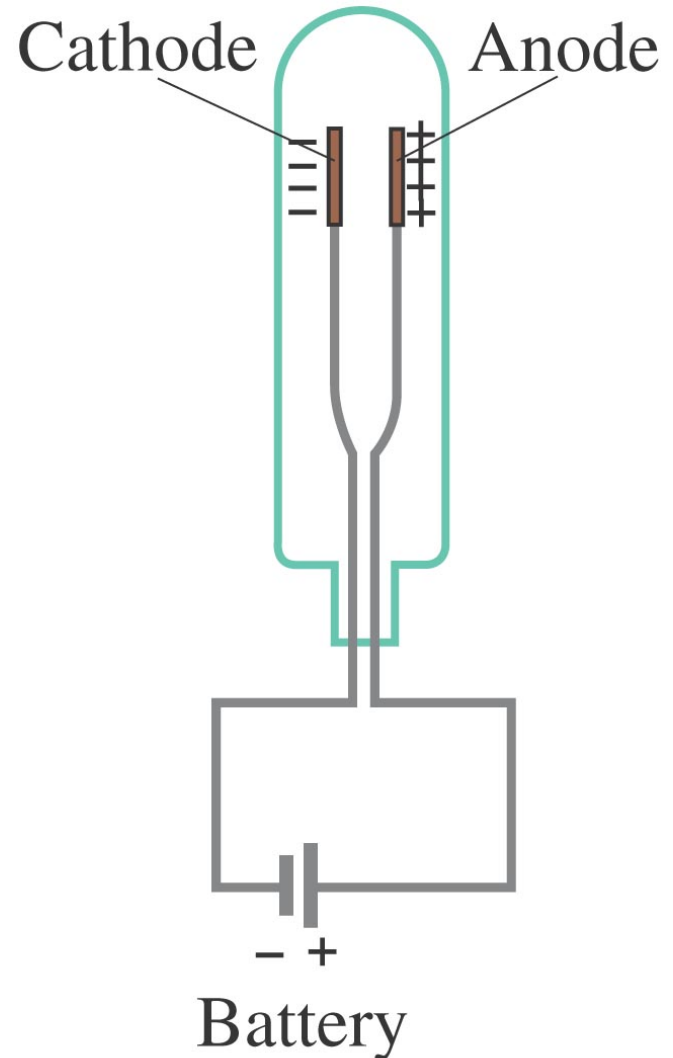
**Πόση ενέργεια απαιτείται για τον ιοντισμό
(απομάκρυνση ενός ηλεκτρονίου από το άτομο) το
ατόμου του υδρογόνου; Υποθέστε ότι η ακτίνα του
ατόμου είναι περίπου $0.529 \times 10^{-10} \text{ m}$.**

ΛΥΣΗ

$$E = +13.6 \text{ eV}$$

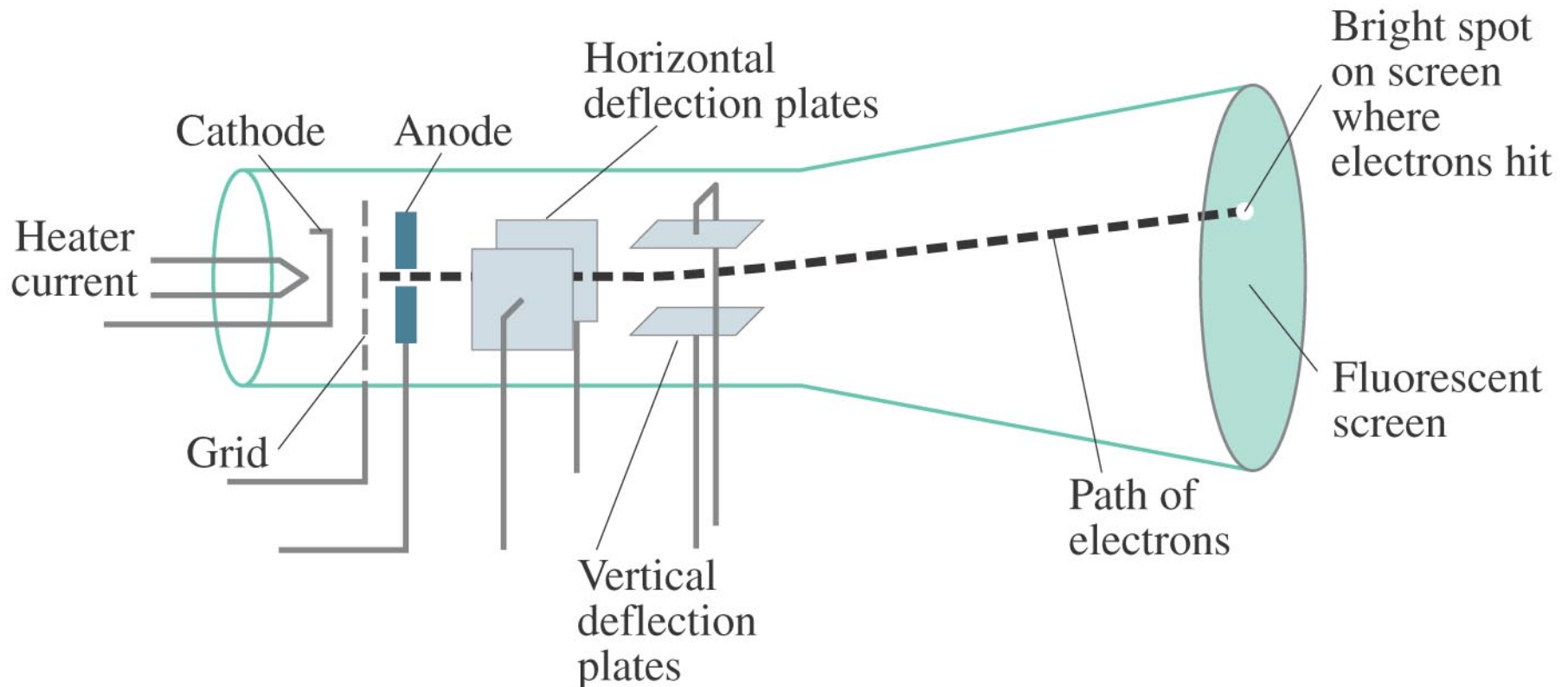
23-9 Καθοδικός Σωλήνας, Οθόνες τηλεόρασης (παλιά)

Ο καθοδικός σωλήνας περιέχει ένα καλώδιο (κάθοδος) που όταν θερμανθεί εκπέμπει ηλεκτρόνια. Η διαφορά δυναμικού με την άνοδο, κάνει τα ηλεκτρόνια να επιταχυνθούν προς αυτήν.



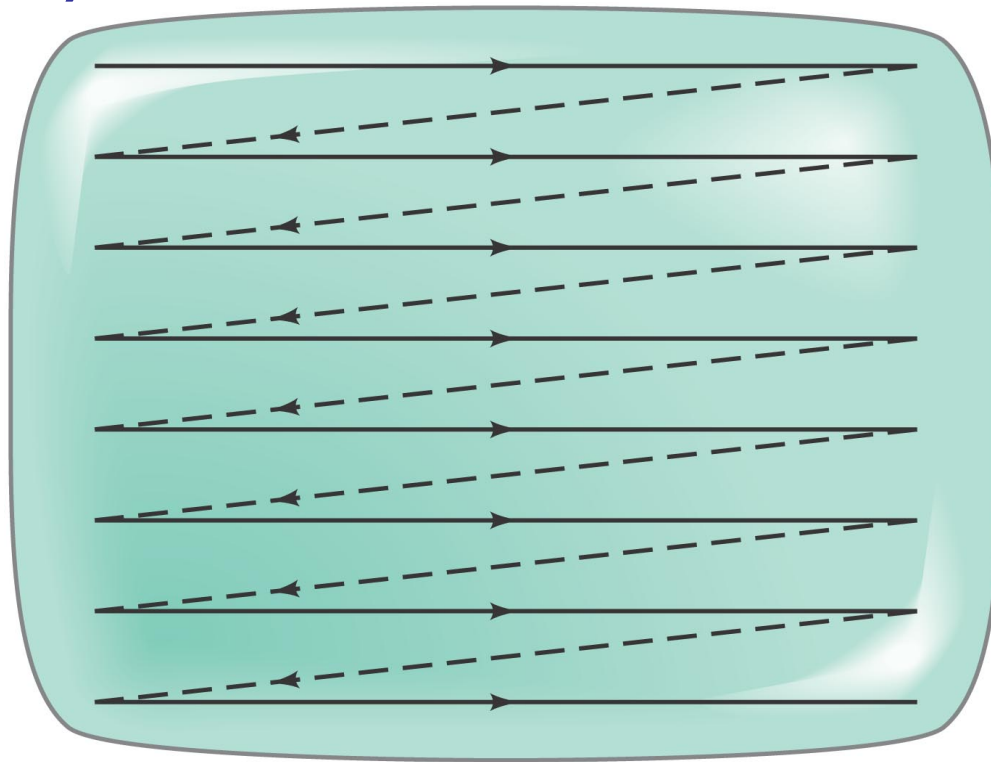
23-9 Καθοδικός Σωλήνας, Οθόνες τηλεόρασης (παλιά)

Τα ηλεκτρόνια (φορτισμένα σωματίδια γενικότερα) κατευθύνονται μέσω ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων



23-9 Καθοδικός Σωλήνας, Οθόνες τηλεόρασης (παλιά)

Η παλιές τηλεοράσεις λειτουργούσαν με καθοδικούς σωλήνες. (ΟΧΙ τα μοντέλα LCD και Plasma)



23-9 Καθοδικός Σωλήνας, Οθόνες τηλεόρασης (παλιά)

Ο Παλμογράφος απεικονίζει ένα ηλεκτρικό σήμα σε μια οθόνη προκαλώντας κάθετη μετατόπιση μια δέσμης ηλεκτρονίων καθώς αυτή κάνει σάρωση σε οριζόντιο επίπεδο.

