

# Κεφάλαιο 23

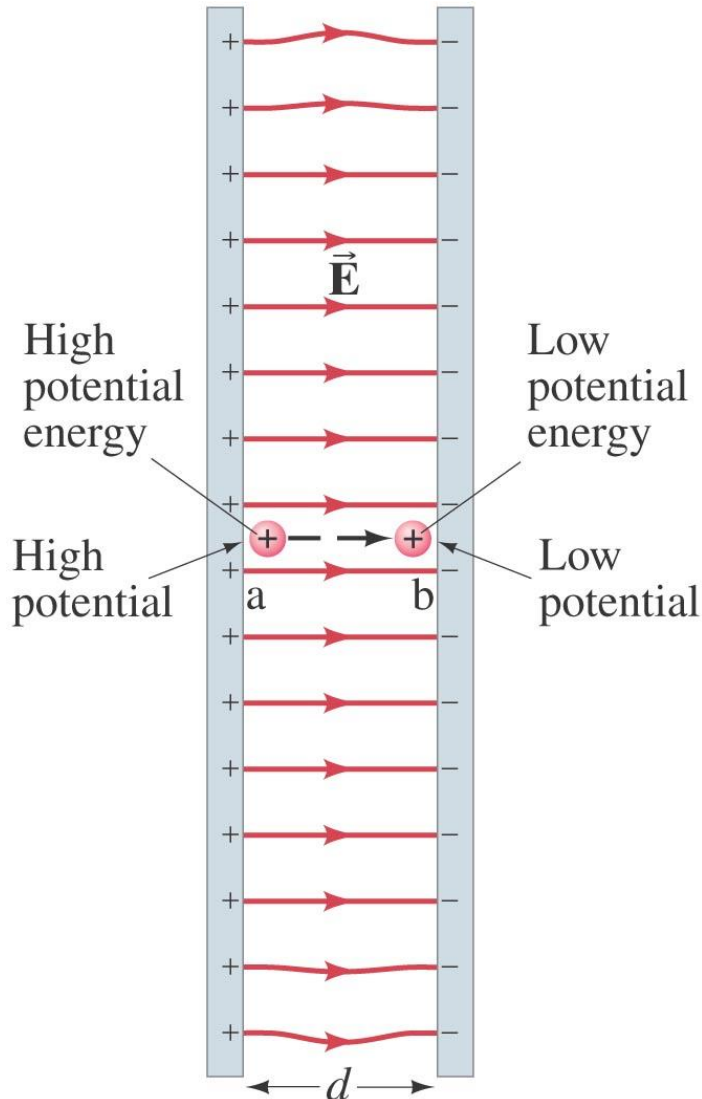
## Ηλεκτρικό Δυναμικό



# 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  $V$
- 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 (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

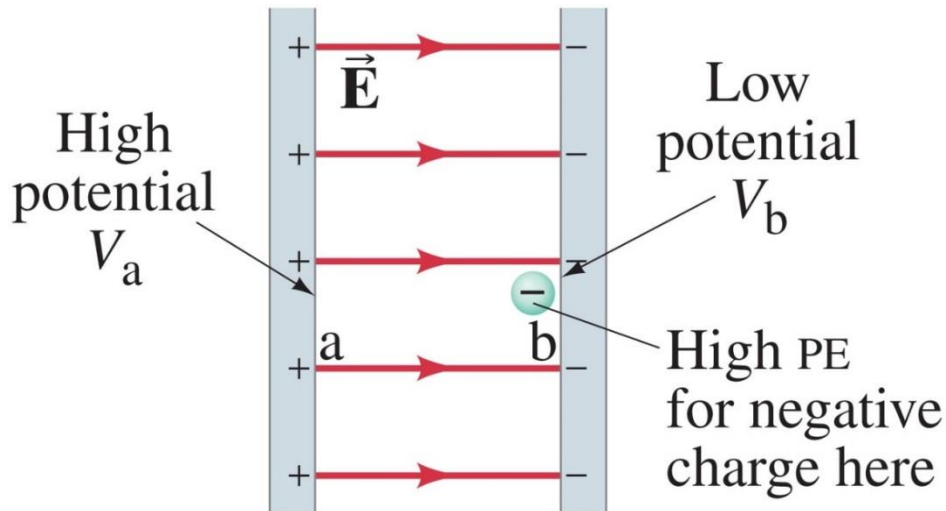
Επειδή μόνο διαφορές δυναμικού δύναται να μετρηθούν, εάν ορίσουμε  $V = 0$ :

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

# 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;



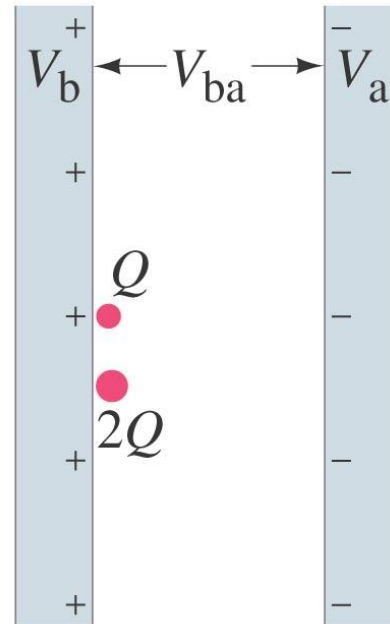
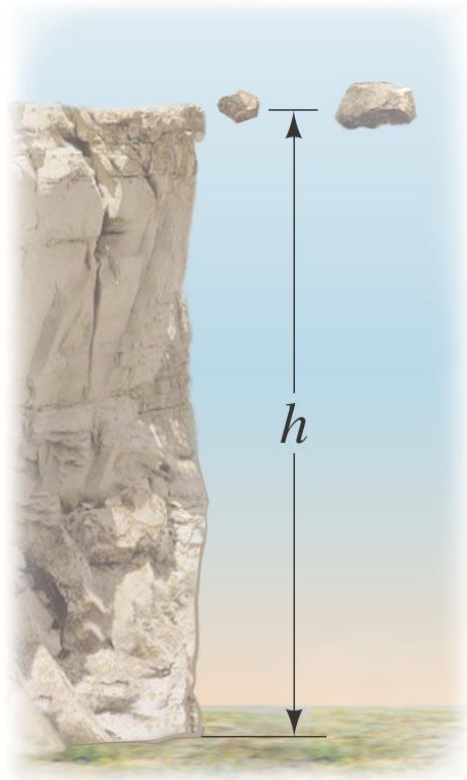
**Το ηλεκτρόνιο θα μετακινηθεί προς τον θετικό οπλισμό.**

**Η δυναμική του ενέργεια μειώνεται.**

**Το δυναμικό εξαρτάται από τα φορτία των οπλισμών άρα δεν αλλάζει.**

# 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	$10^5$ – $10^6$ 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

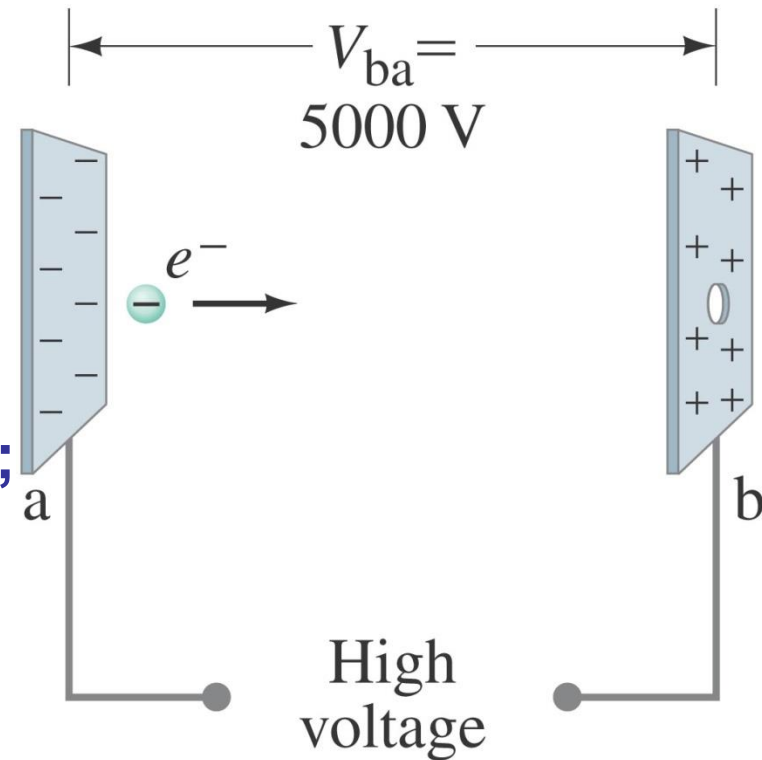


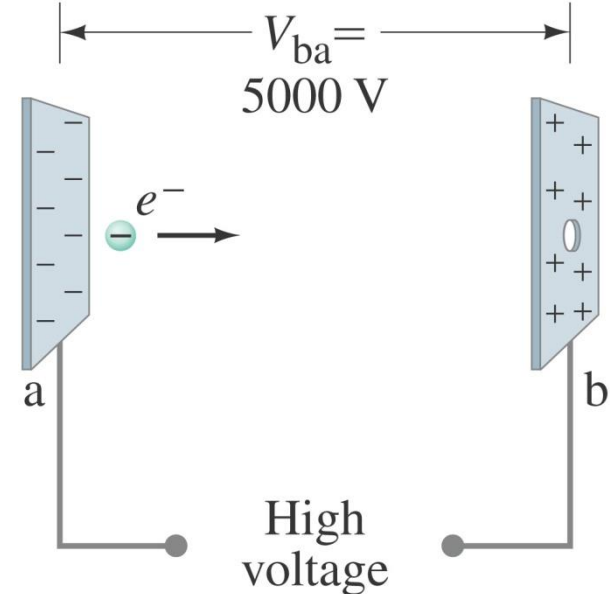
# 23-1 Ηλεκτροστατική Δυναμική

## 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 ( $m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ )





**APPROACH** The electron, accelerated toward the positive plate, will decrease in potential energy by an amount  $\Delta U = qV_{ba}$  (Eq. 23-3). The loss in potential energy will equal its gain in kinetic energy (energy conservation).

**SOLUTION** (a) The charge on an electron is  $q = -e = -1.6 \times 10^{-19}$  C. Therefore its change in potential energy is

$$\Delta U = qV_{ba} = (-1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(+5000 \text{ V}) = -8.0 \times 10^{-16} \text{ J}.$$

The minus sign indicates that the potential energy decreases. The potential difference  $V_{ba}$  has a positive sign since the final potential  $V_b$  is higher than the initial potential  $V_a$ . Negative electrons are attracted toward a positive electrode and repelled away from a negative electrode.

(b) The potential energy lost by the electron becomes kinetic energy  $K$ . From conservation of energy (Eq. 8-9a),  $\Delta K + \Delta U = 0$ , so

$$\begin{aligned} \Delta K &= -\Delta U \\ \frac{1}{2}mv^2 - 0 &= -q(V_b - V_a) = -qV_{ba}, \end{aligned}$$

where the initial kinetic energy is zero since we are given that the electron started from rest. We solve for  $v$ :

$$v = \sqrt{-\frac{2qV_{ba}}{m}} = \sqrt{-\frac{2(-1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(5000 \text{ V})}{9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}}} = 4.2 \times 10^7 \text{ m/s}.$$

**NOTE** The electric potential energy does not depend on the mass, only on the charge and voltage. The speed *does* depend on  $m$ .

**Το έργο είναι ίσο με την μεταβολή στην κινητική ενέργεια και αντίθετο με τη μεταβολή στην δυναμική ενέργεια:**

$$W_{net} = \int_a^b \vec{F} \cdot d\vec{l} = -\Delta U = U_b - U_a = \Delta K = \frac{1}{2}mv_b^2 - \frac{1}{2}mv_a^2$$

- **Θετικό έργο:**

**Αύξηση Κινητικής Ενέργειας**

**Μείωση Δυναμικής**

- **Αρνητικό έργο:**

**Μείωση της Κινητικής Ενέργειας**

**Αύξηση Δυναμικής**

# 23-2 Σχέση Ηλεκτρικού Δυναμικού και Ηλεκτρικού Πεδίου

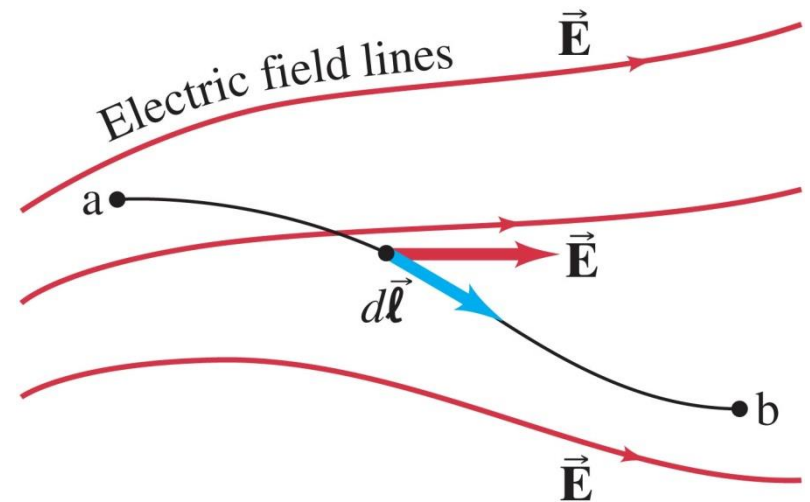
Στην μηχανική, για μια συντηρητική δύναμη, ισχύει η σχέση:

$$W_{net} = \int_a^b \vec{F} \cdot d\vec{l} = -\Delta U = -(U_b - U_a)$$

$$\Delta U = -\int_a^b \vec{F} \cdot d\vec{l} = -\int_a^b q\vec{E} \cdot d\vec{l}$$

$$\frac{\Delta U}{q} = -\int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

$$\Delta V = V_b - V_a = -\int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l}$$



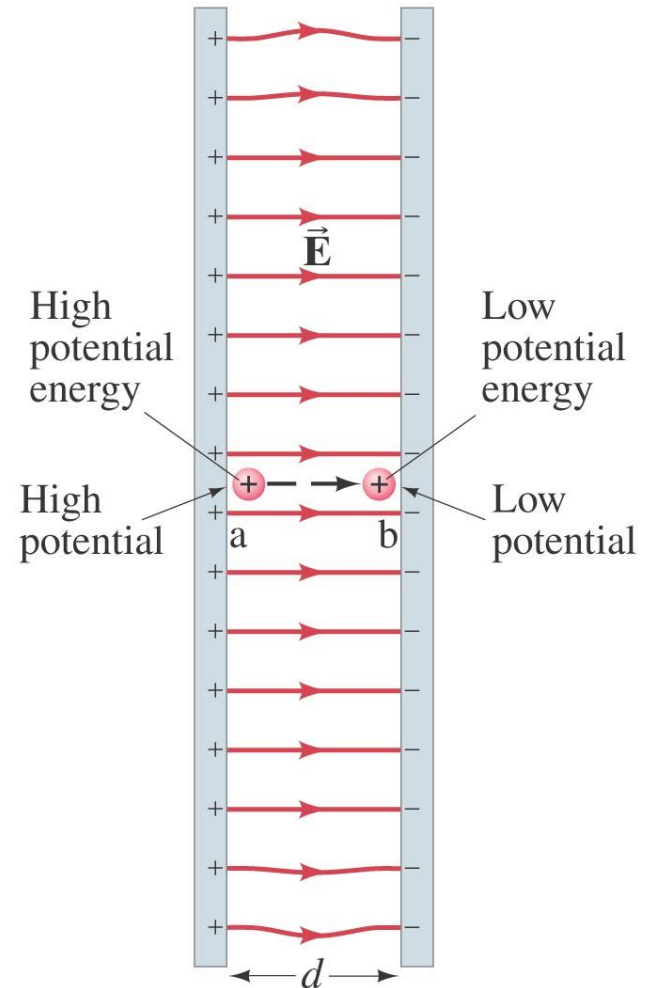
# 23-2 Σχέση Ηλεκτρικού Δυναμικού και Ηλεκτρικού Πεδίου

Για ομογενές Ηλεκτρικό Πεδίο:

$$\Delta V = V_b - V_a = -\int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

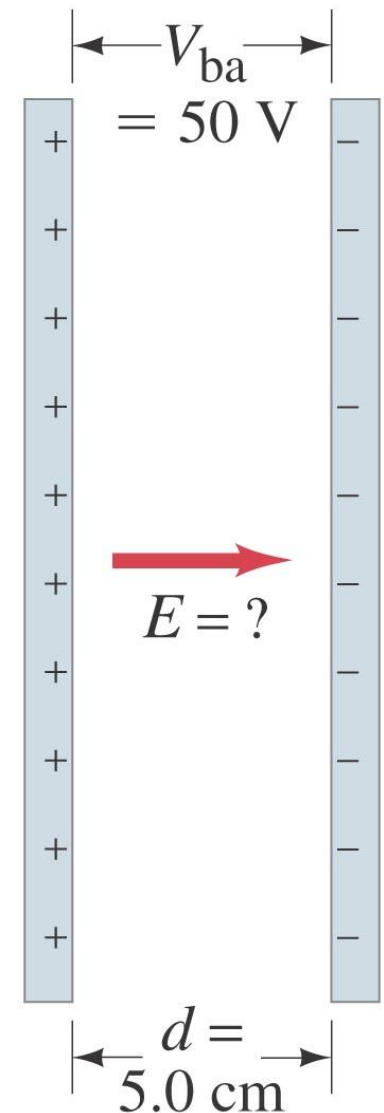
$$\Delta V = -\int_a^b E dl = -E \int_a^b dl = -E(b - a)$$

$$|\vec{E}| = \frac{|\Delta V|}{d}$$



## 23-2 Σχέση Ηλεκτρικού Δυναμικού και Ηλεκτρικού Πεδίου

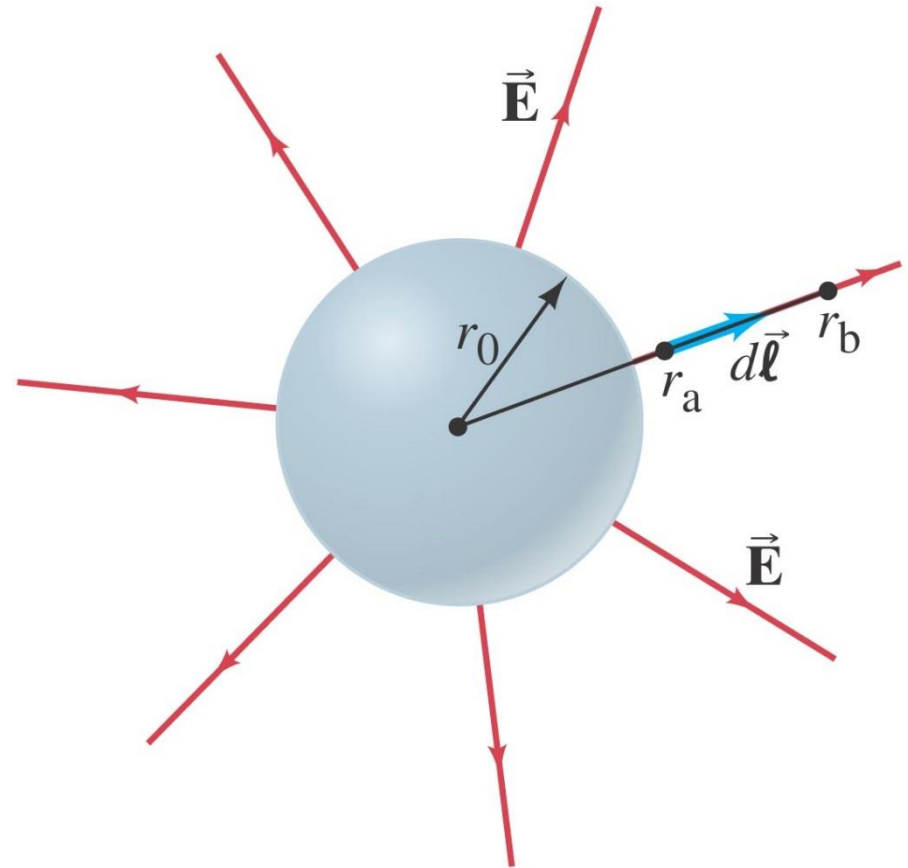
Δύο παράλληλες πλάκες έχουν διαφορά δυναμικού 50 V. Εάν η απόστασή τους είναι 0.050 m, βρείτε το πεδίο που δημιουργείται μεταξύ των πλακών



**SOLUTION** The electric field magnitude is  $E = V_{ba}/d = (50 \text{ V}/0.050 \text{ m}) = 1000 \text{ V/m}$ .

# 23-2 Σχέση Ηλεκτρικού Δυναμικού και Ηλεκτρικού Πεδίου

Βρείτε το δυναμικό για μια ομοιόμορφα φορτισμένη αγωγίμη σφαίρα με ακτίνα  $r_0$ , 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

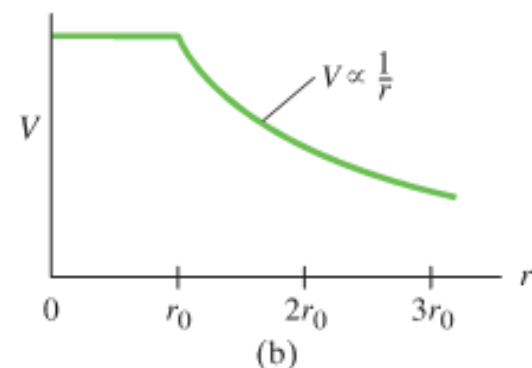
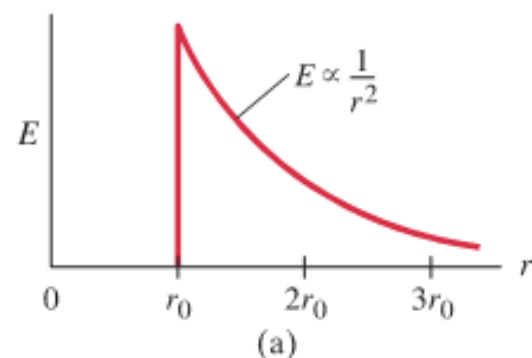
$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r_0} \quad [r = r_0]$$

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 της επιτάχυνσης των ελευθέρων ηλεκτρονίων που βρίσκονται στο 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 την 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.

**APPROACH** The electric potential at the surface of a spherical conductor of radius  $r_0$  (Example 23–4), and the electric field just outside its surface, are

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r_0} \quad \text{and} \quad E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r_0^2}.$$

**SOLUTION** (a) We combine these two equations and obtain

$$V = r_0 E. \quad \text{[at surface of spherical conductor]}$$

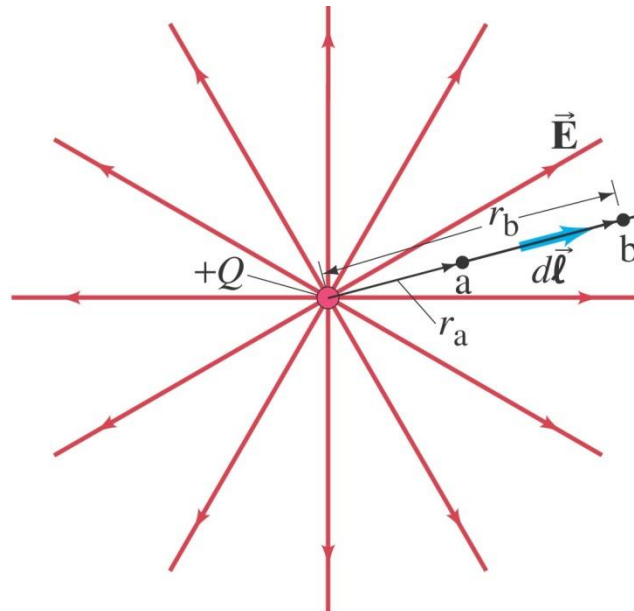
(b) For  $r_0 = 5 \times 10^{-3} \text{ m}$ , the breakdown voltage in air is

$$V = (5 \times 10^{-3} \text{ m})(3 \times 10^6 \text{ V/m}) \approx 15,000 \text{ V}.$$

# 23-3 Ηλεκτρικό Δυναμικό σημειακών φορτίων

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

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

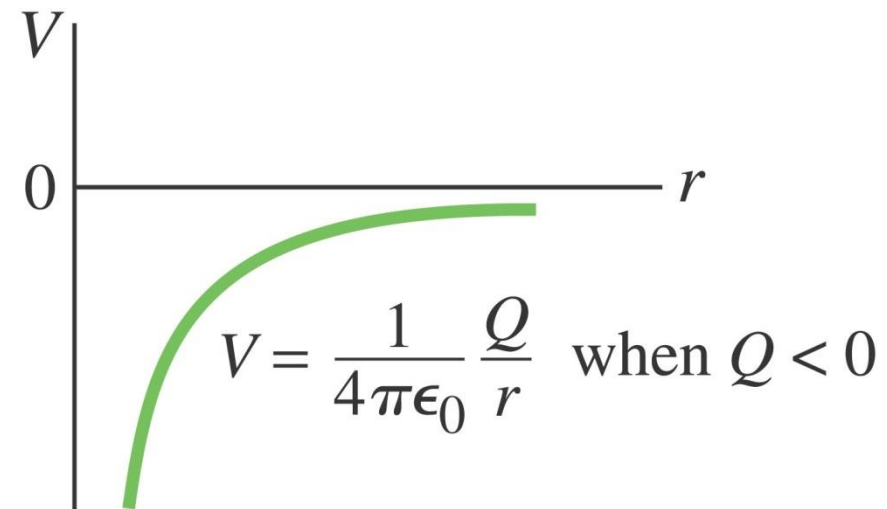
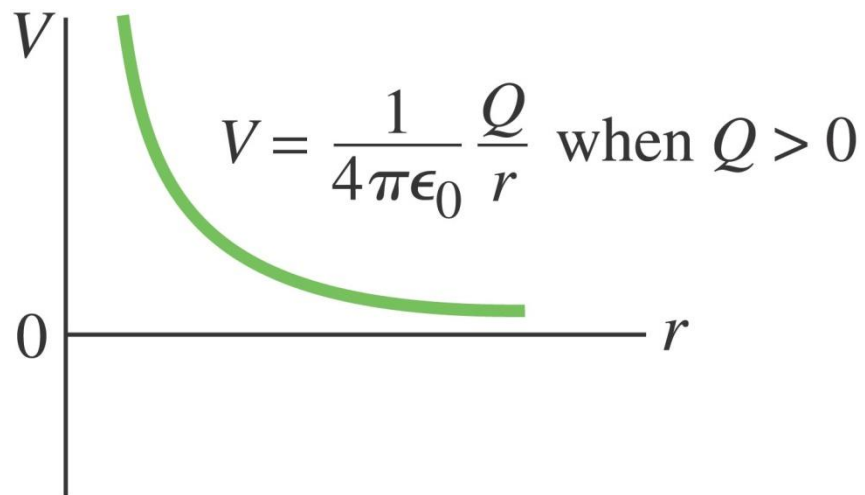


# 23-3 Ηλεκτρικό Δυναμικό σημειακών φορτίων

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  $0.500 \text{ m}$  από το φορτίο  $Q = 20.0 \mu\text{C}$ ?

**APPROACH** To find the work we cannot simply multiply the force times distance because the force is not constant. Instead we can set the change in potential energy equal to the (positive of the) work required of an *external* force (Chapter 8), and Eq. 23-3:  $W = \Delta U = q(V_b - V_a)$ . We get the potentials  $V_b$  and  $V_a$  using Eq. 23-5.

**SOLUTION** The work required is equal to the change in potential energy:

$$\begin{aligned} W &= q(V_b - V_a) \\ &= q\left(\frac{kQ}{r_b} - \frac{kQ}{r_a}\right), \end{aligned}$$

where  $r_b = 0.500 \text{ m}$  and  $r_a = \infty$ . The right-hand term within the parentheses is zero ( $1/\infty = 0$ ) so

$$W = (3.00 \times 10^{-6} \text{ C}) \frac{(8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)(2.00 \times 10^{-5} \text{ C})}{(0.500 \text{ m})} = 1.08 \text{ J}.$$

**NOTE** We could not use Eq. 23-4b here because it applies *only* to uniform fields. But we did use Eq. 23-3 because it is always valid.

# Βρείτε το ηλεκτρικό δυναμικό στα σημεία A και B.

**APPROACH** The total potential at point A (or at point B) is the sum of the potentials at that point due to each of the two charges  $Q_1$  and  $Q_2$ . The potential due to each single charge is given by Eq. 23-5. We do not have to worry about directions because electric potential is a scalar quantity. But we do have to keep track of the signs of charges.

**SOLUTION** (a) We add the potentials at point A due to each charge  $Q_1$  and  $Q_2$ , and we use Eq. 23-5 for each:

$$\begin{aligned}V_A &= V_{A2} + V_{A1} \\ &= k \frac{Q_2}{r_{2A}} + k \frac{Q_1}{r_{1A}}\end{aligned}$$

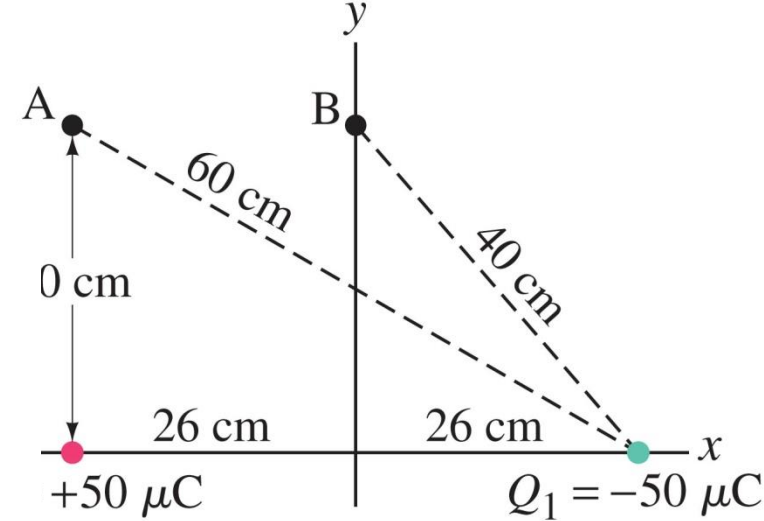
where  $r_{1A} = 60 \text{ cm}$  and  $r_{2A} = 30 \text{ cm}$ . Then

$$\begin{aligned}V_A &= \frac{(9.0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)(5.0 \times 10^{-5} \text{ C})}{0.30 \text{ m}} \\ &\quad + \frac{(9.0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)(-5.0 \times 10^{-5} \text{ C})}{0.60 \text{ m}} \\ &= 1.50 \times 10^6 \text{ V} - 0.75 \times 10^6 \text{ V} \\ &= 7.5 \times 10^5 \text{ V}.\end{aligned}$$

(b) At point B,  $r_{1B} = r_{2B} = 0.40 \text{ m}$ , so

$$\begin{aligned}V_B &= V_{B2} + V_{B1} \\ &= \frac{(9.0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)(5.0 \times 10^{-5} \text{ C})}{0.40 \text{ m}} \\ &\quad + \frac{(9.0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)(-5.0 \times 10^{-5} \text{ C})}{0.40 \text{ m}} \\ &= 0 \text{ V}.\end{aligned}$$

**NOTE** The two terms in the sum in (b) cancel for any point equidistant from  $Q_1$  and  $Q_2$  ( $r_{1B} = r_{2B}$ ). Thus the potential will be zero everywhere on the plane equidistant between the two opposite charges. This plane where  $V$  is constant is called an equipotential surface.



# 23-4 Ηλεκτρικό δυναμικό για Κατανομή Φορτίων

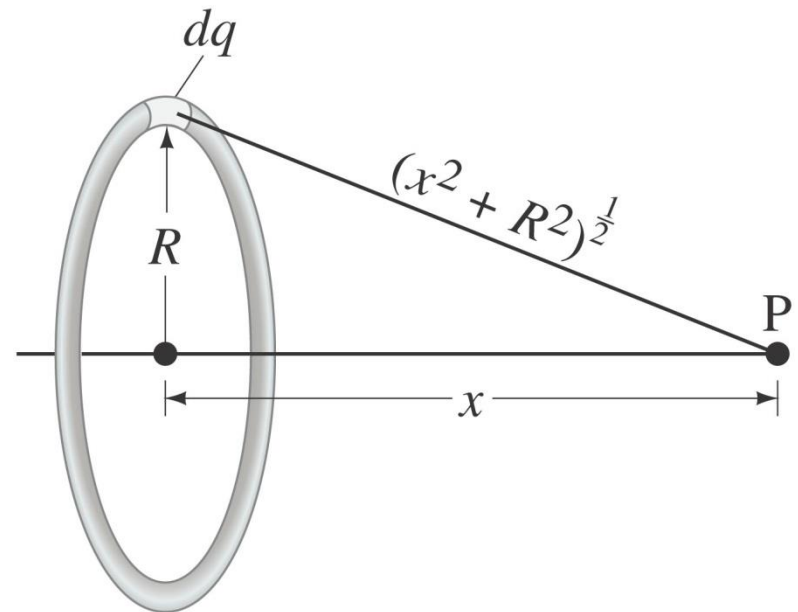
Για οποιαδήποτε κατανομή φορτίων το δυναμικό εκφράζεται ως άθροισμα ή ολοκλήρωμα (όταν έχουμε συνεχή κατανομή)

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

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.



**APPROACH** We integrate over the ring using Eq. 23–6b.

**SOLUTION** Each point on the ring is equidistant from point  $P$ , and this distance is  $(x^2 + R^2)^{1/2}$ . So the potential at  $P$  is:

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dq}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{(x^2 + R^2)^{1/2}} \int dq = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{(x^2 + R^2)^{1/2}}$$

**NOTE** For points very far away from the ring,  $x \gg R$ , this result reduces to  $(1/4\pi\epsilon_0)(Q/x)$ , the potential of a point charge, as we should expect.



# Επαναλαμβάνουμε το προηγούμενο παράδειγμα αλλά για δίσκο

**APPROACH** We divide the disk into thin rings of radius  $R$  and thickness  $dR$  and use the result of Example 23–8 to sum over the disk.

**SOLUTION** The charge  $Q$  is distributed uniformly, so the charge contained in each ring is proportional to its area. The disk has area  $\pi R_0^2$  and each thin ring has area  $dA = (2\pi R)(dR)$ . Hence

$$\frac{dq}{Q} = \frac{2\pi R dR}{\pi R_0^2}$$

so

$$dq = Q \frac{(2\pi R)(dR)}{\pi R_0^2} = \frac{2QR dR}{R_0^2}.$$

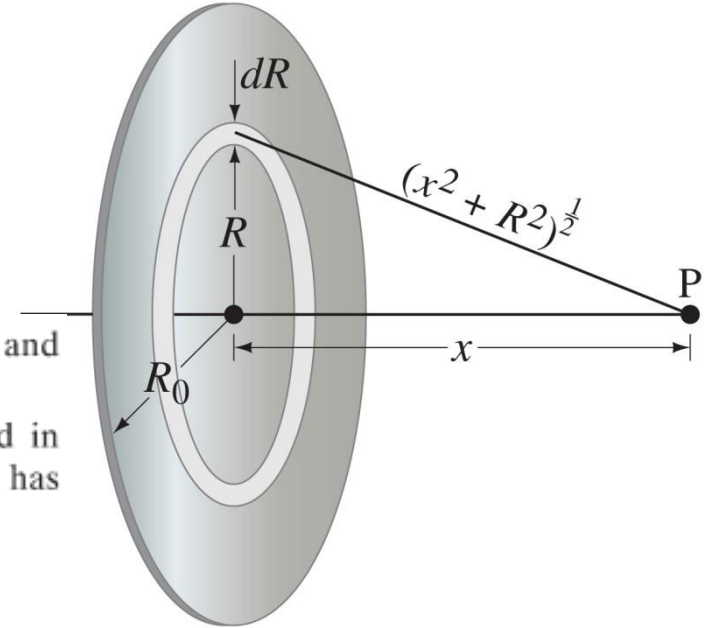
Then the potential at P, using Eq. 23–6b in which  $r$  is replaced by  $(x^2 + R^2)^{\frac{1}{2}}$ , is

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dq}{(x^2 + R^2)^{\frac{1}{2}}} = \frac{2Q}{4\pi\epsilon_0 R_0^2} \int_0^{R_0} \frac{R dR}{(x^2 + R^2)^{\frac{1}{2}}} = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 R_0^2} (x^2 + R^2)^{\frac{1}{2}} \Big|_{R=0}^{R=R_0} \\ &= \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 R_0^2} [(x^2 + R_0^2)^{\frac{1}{2}} - x]. \end{aligned}$$

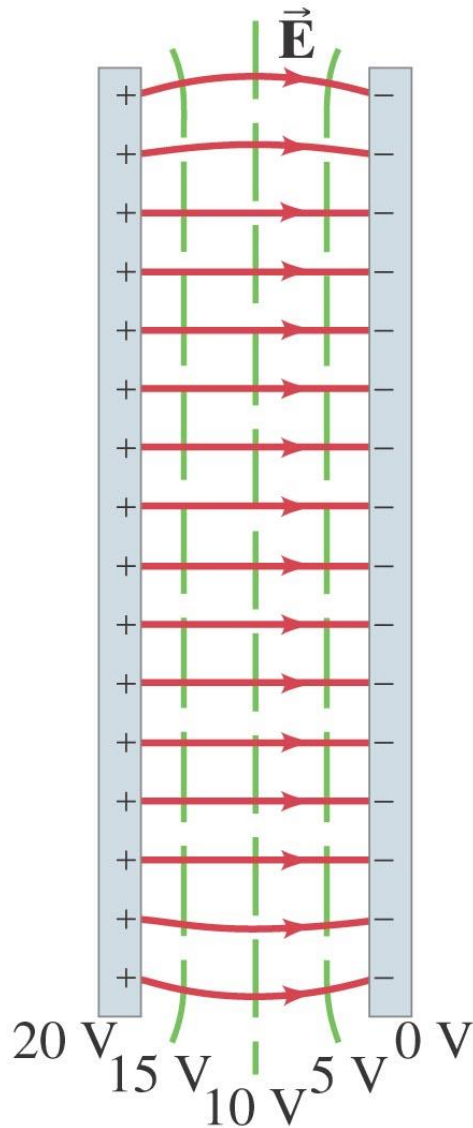
**NOTE** For  $x \gg R_0$ , this formula reduces to

$$V \approx \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 R_0^2} \left[ x \left( 1 + \frac{1}{2} \frac{R_0^2}{x^2} \right) - x \right] = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 x}.$$

This is the formula for a point charge, as we expect.



# 23-5 Ισοδυναμικές Επιφάνειες

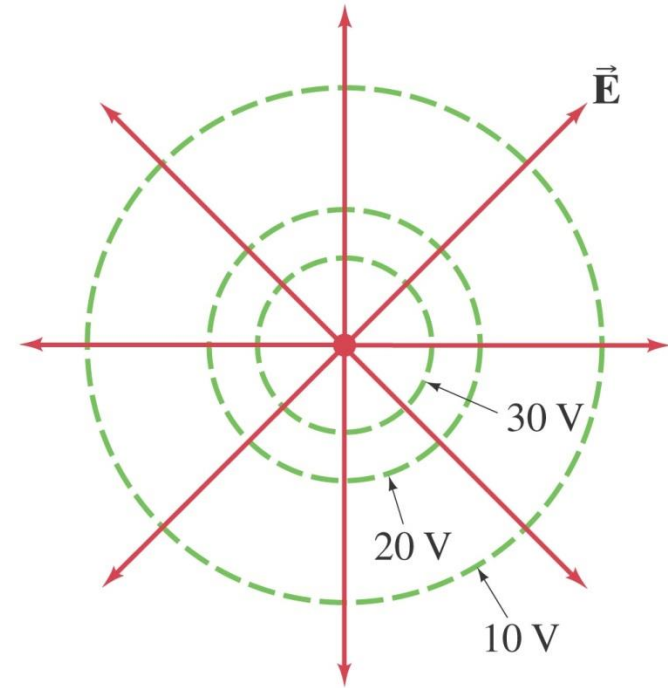


Έχουν το ίδιο δυναμικό ονομάζονται **ισοδυναμικές επιφάνειες**.

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  $V_3 = 30 \text{ V}$ .



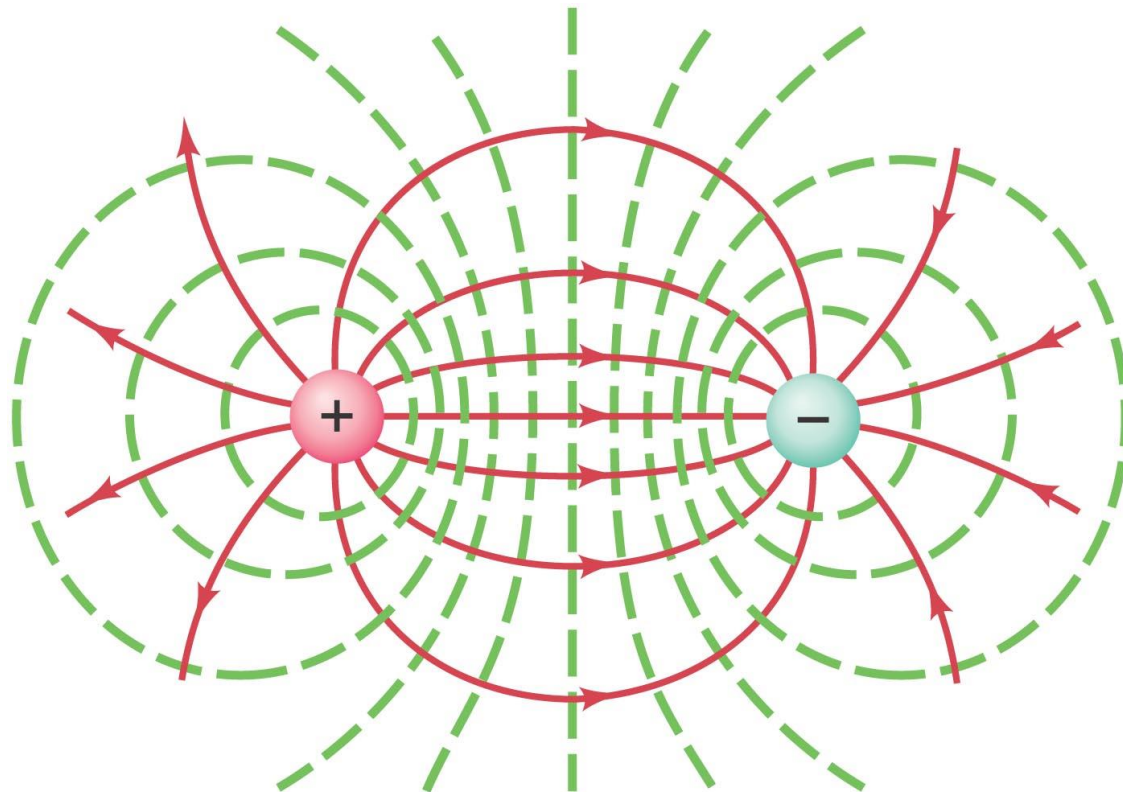
**APPROACH** The electric potential  $V$  depends on the distance  $r$  from the charge (Eq. 23-5).

**SOLUTION** The electric field for a positive point charge is directed radially outward. Since the equipotential surfaces must be perpendicular to the lines of electric field, they will be spherical in shape, centered on the point charge, Fig. 23-17. From Eq. 23-5 we have  $r = (1/4\pi\epsilon_0)(Q/V)$ , so that for  $V_1 = 10 \text{ V}$ ,  $r_1 = (9.0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)(4.0 \times 10^{-9} \text{ C})/(10 \text{ V}) = 3.6 \text{ m}$ , for  $V_2 = 20 \text{ V}$ ,  $r_2 = 1.8 \text{ m}$ , and for  $V_3 = 30 \text{ V}$ ,  $r_3 = 1.2 \text{ m}$ , as shown.

**NOTE** The equipotential surface with the largest potential is closest to the positive charge. How would this change if  $Q$  were negative?

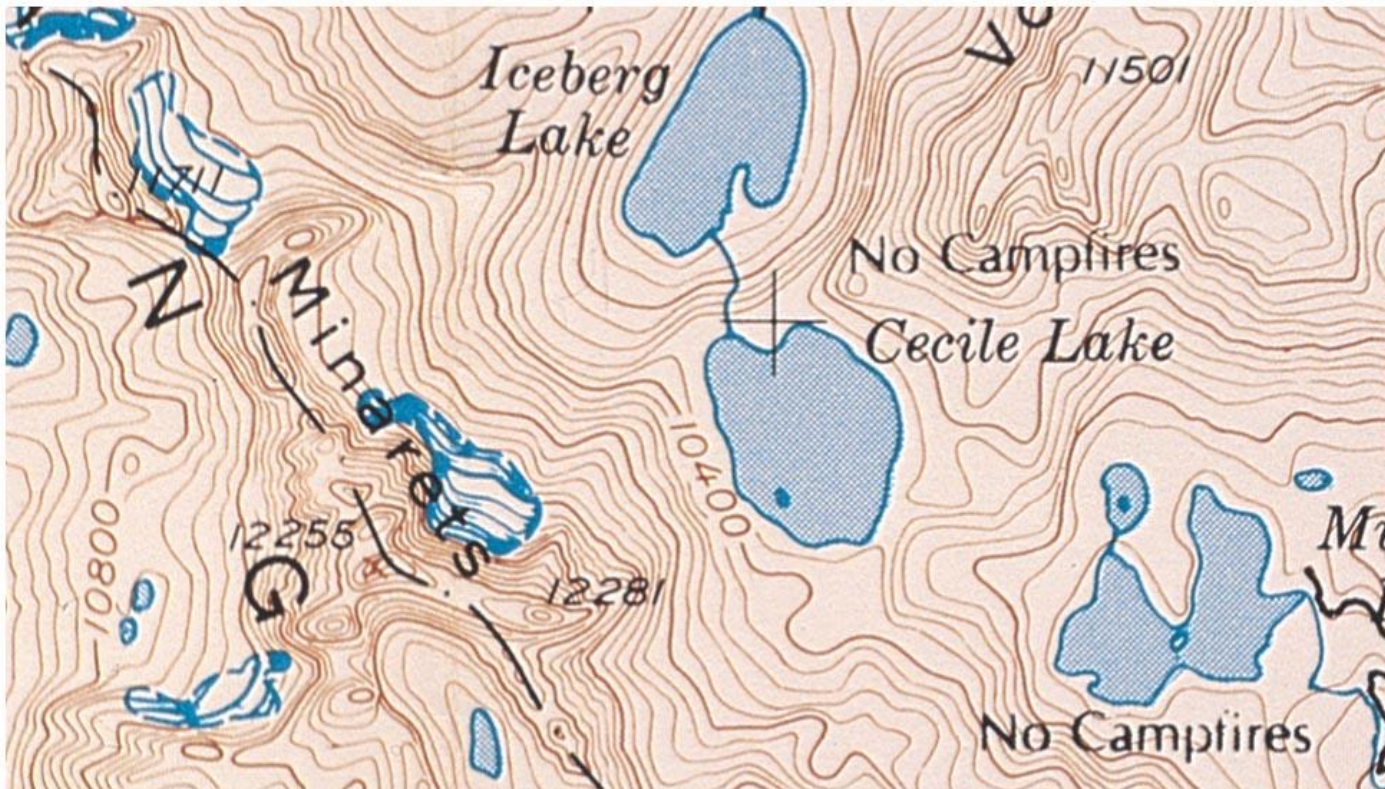
# 23-5 Ισοδυναμικές επιφάνειες

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



# 23-5 Ισοδυναμικές επιφάνειες

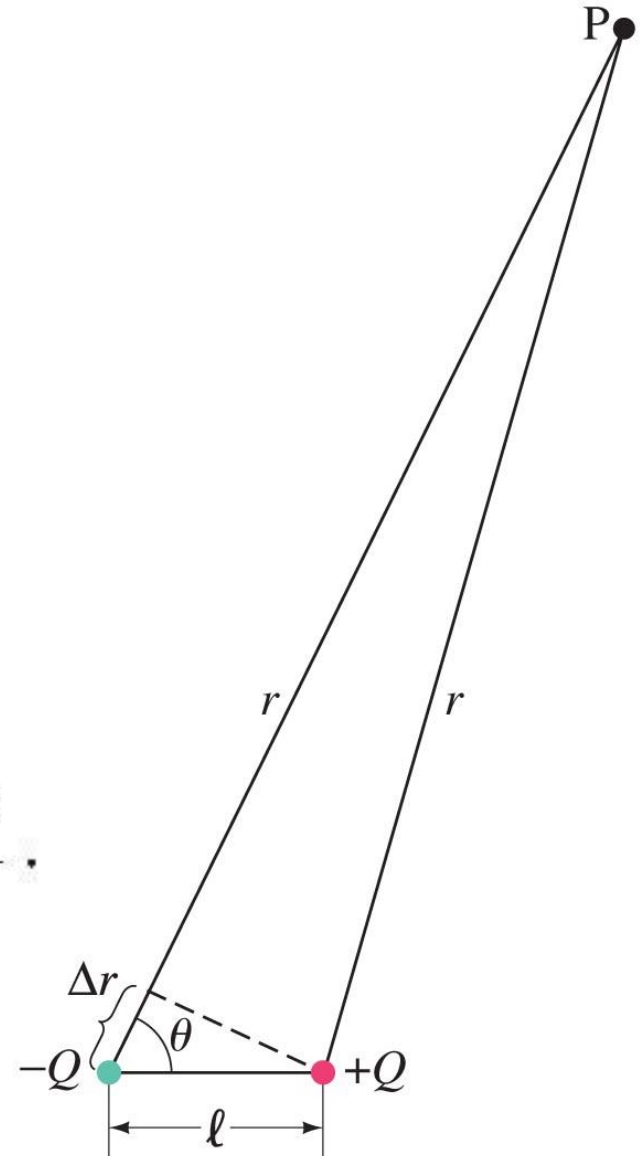
Η αναλογία με το βαρυτικό πεδίο είναι οι υψομετρικές επιφάνειες σε ένα τοπογραφικό χάρτη..



## 23-6 Δυναμικό Ηλεκτρικού Διπόλου

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

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



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

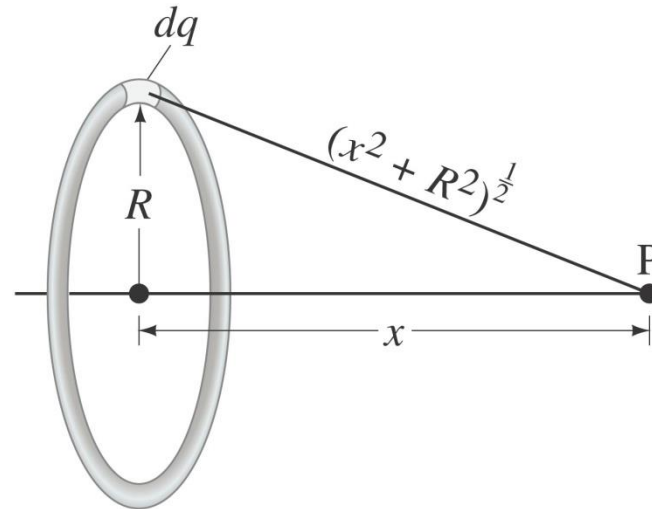
Εάν γνωρίζουμε το πεδίο με ολοκλήρωση βρίσκουμε το δυναμικό. Με την αντίστροφη διαδικασία μπορούμε με παραγοντοποίηση να βρούμε το πεδίο εάν γνωρίζουμε το δυναμικό:

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

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 και δακτυλίδι και δίσκο βρείτε τα ηλεκτρικά πεδία



**SOLUTION** (a) From Example 23–8,

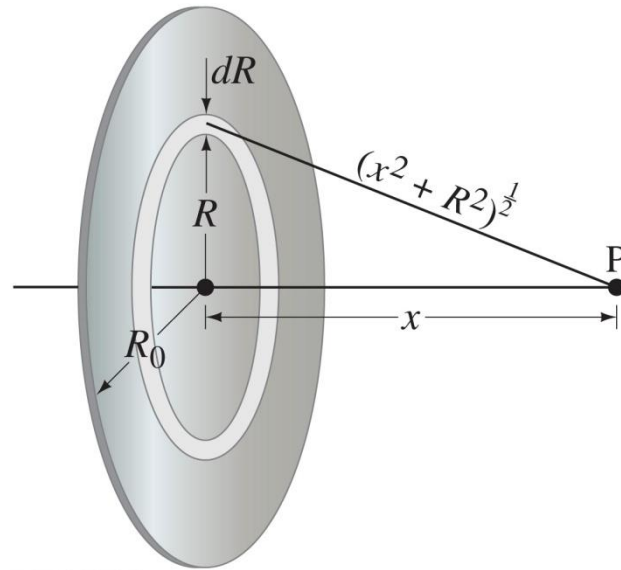
$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{(x^2 + R^2)^{\frac{1}{2}}}.$$

Then

$$E_x = -\frac{\partial V}{\partial x} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qx}{(x^2 + R^2)^{\frac{3}{2}}}.$$

This is the same result we obtained in Example 21–9.





(b) From Example 23-9,

$$V = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 R_0^2} [(x^2 + R_0^2)^{\frac{1}{2}} - x],$$

so

$$E_x = -\frac{\partial V}{\partial x} = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 R_0^2} \left[ 1 - \frac{x}{(x^2 + R_0^2)^{\frac{1}{2}}} \right].$$

For points very close to the disk,  $x \ll R_0$ , this can be approximated by

$$E_x \approx \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 R_0^2} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

## 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) του ατόμου του υδρογόνου; Υποθέστε ότι η ακτίνα του ατόμου είναι περίπου  $0.529 \times 10^{-10} \text{ m}$ .**

**SOLUTION** From Eq. 23–10 we have initially

$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{(e)(-e)}{r} = \frac{-(8.99 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)(1.60 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{(0.529 \times 10^{-10} \text{ m})} \\ = -27.2(1.60 \times 10^{-19}) \text{ J} = -27.2 \text{ eV}.$$

This represents the potential energy. The total energy must include also the kinetic energy of the electron moving in an orbit of radius  $r = 0.529 \times 10^{-10} \text{ m}$ . From  $F = ma$  for centripetal acceleration, we have

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{e^2}{r^2} \right) = \frac{mv^2}{r}.$$

Then

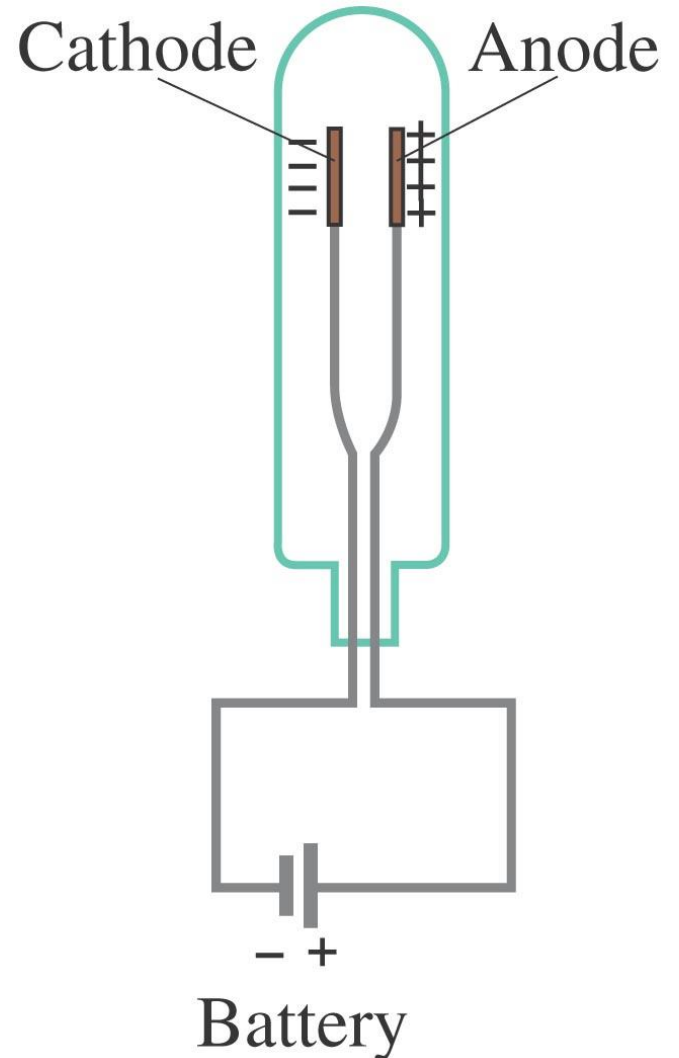
$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \right) \frac{e^2}{r}$$

which equals  $-\frac{1}{2}U$  (as calculated above), so  $K = +13.6 \text{ eV}$ . The total energy initially is  $E = K + U = 13.6 \text{ eV} - 27.2 \text{ eV} = -13.6 \text{ eV}$ . To separate a stable hydrogen atom into a proton and an electron at rest very far apart ( $U = 0$  at  $r = \infty$ ,  $K = 0$  because  $v = 0$ ) requires  $+13.6 \text{ eV}$ . This is, in fact, the measured ionization energy for hydrogen.

**NOTE** To treat atoms properly, we need to use quantum theory (Chapters 37 to 39). But our “classical” calculation does give the correct answer here.

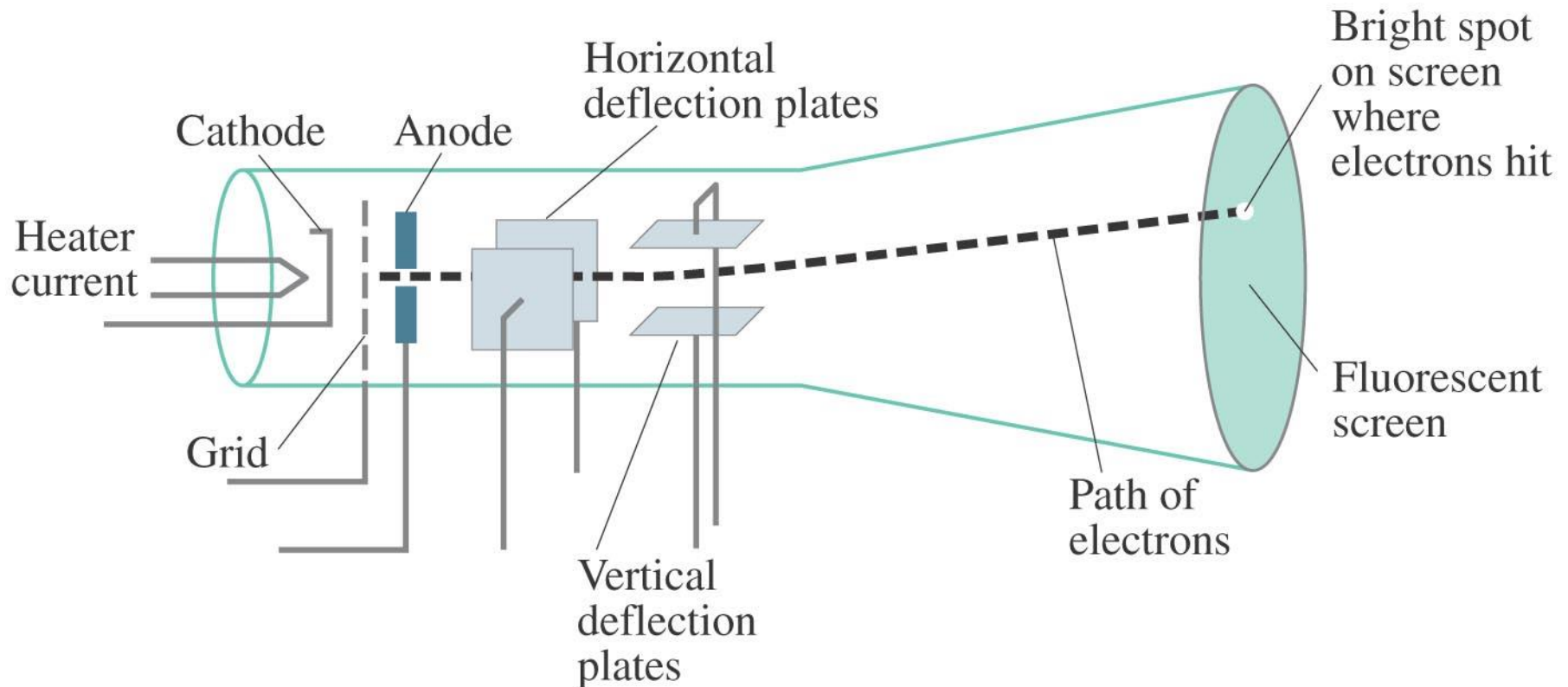
# 23-9 Καθοδικός Σωλήνας, Οθόνες τηλεόρασης (παλιά)

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.



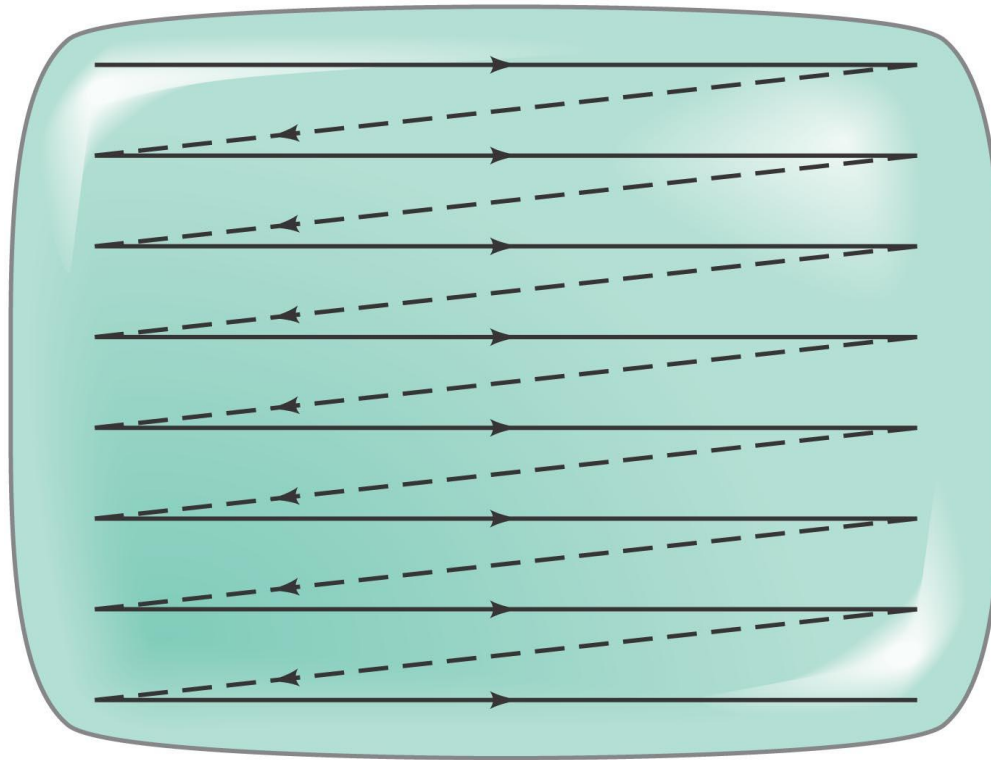
# 23-9 Καθοδικός Σωλήνας, Οθόνες τηλεόρασης (παλιά)

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 μιας δέσμης ηλεκτρονίων καθώς αυτή κάνει σάρωση σε οριζόντιο επίπεδο.

