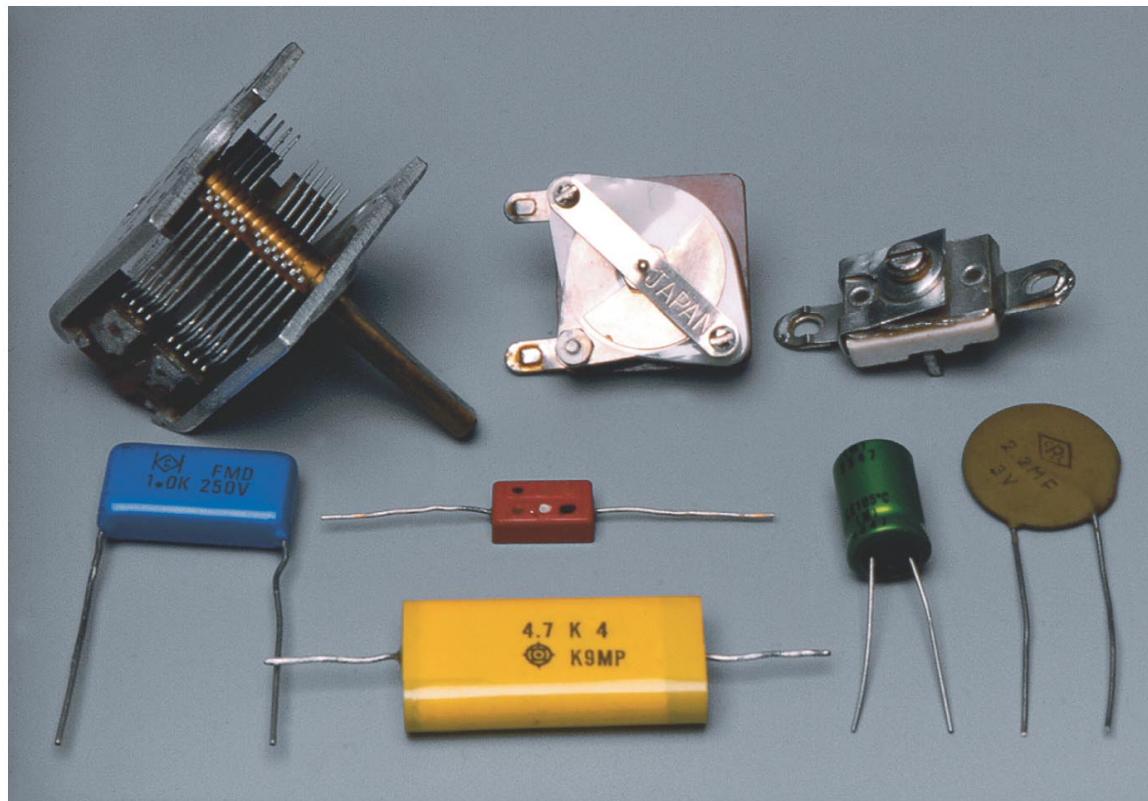


# Κεφάλαιο 24

## Χωρητικότητα, Διηλεκτρικά, Dielectrics, Αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας

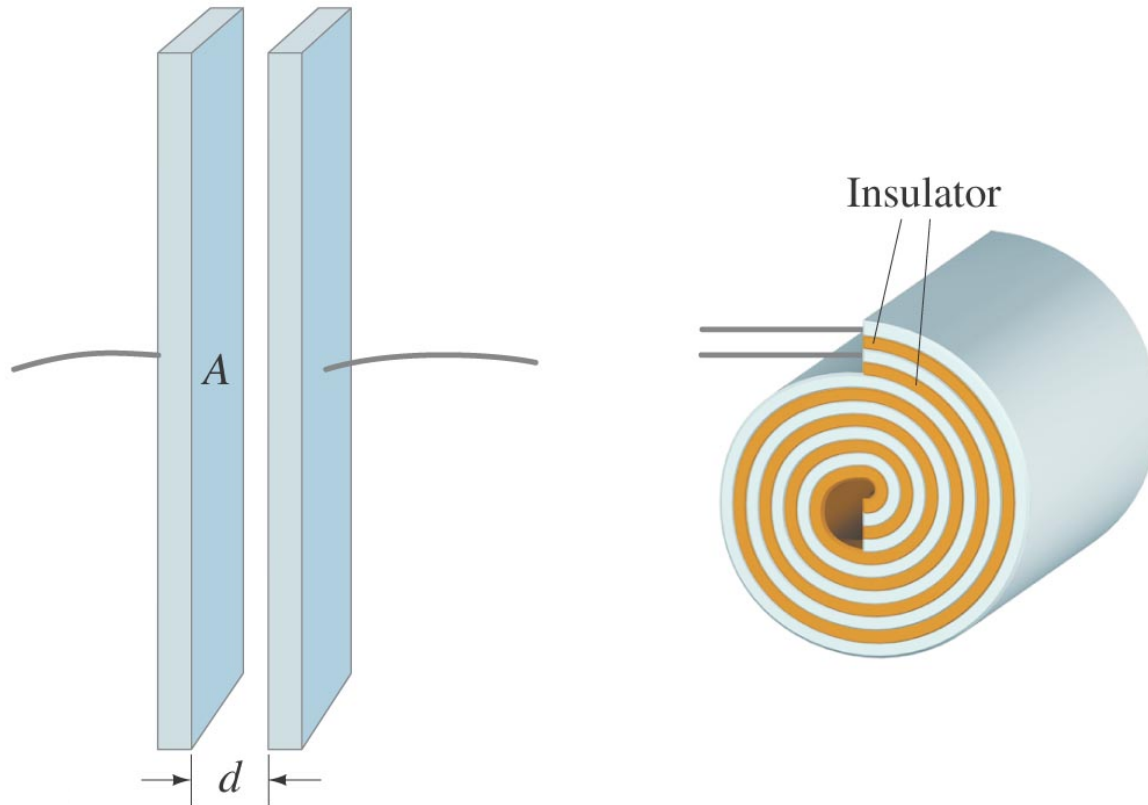


# Περιεχόμενα 24

- Πυκνωτές
- Προσδιορισμός Χωρητικότητας Πυκνωτή
- Παράλληλη και σε σειρά σύνδεση πυκνωτών
- Αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας
- Διηλεκτρικά
- Μοριακή περιγραφή Διηλεκτρικών

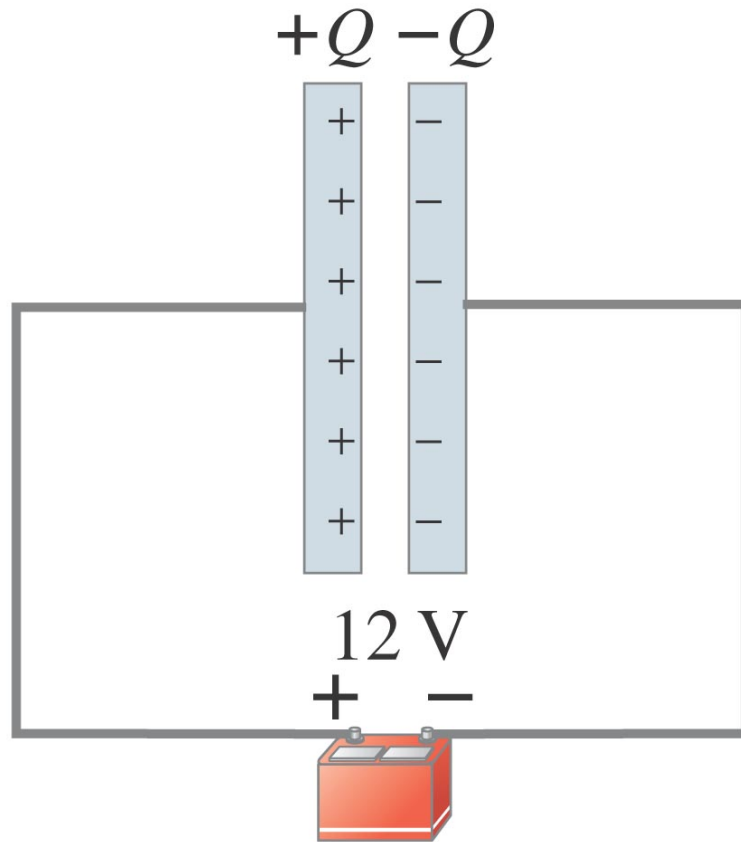
# 24-1 Πυκνωτές

Ένας πυκνωτής αποτελείται από δύο αγωγούς που βρίσκονται σε πολύ κοντινή απόσταση αλλά όχι σε επαφή. Ο πυκνωτής έχει την ικανότητα να αποθηκεύσει ηλεκτρική ενέργεια..



# 24-1 Πυκνωτές

Ένας Παράλληλος πυκνωτής συνδεδεμένος με μπαταρία, και στο (β) ηλεκτρικό διάγραμμα αυτής της συνδεσμολογίας.



(a)



(b)

# 24-1 Πυκνωτές

Όταν ένας πυκνωτής είναι συνδεδεμένος με μπαταρία, το φορτίο στους οπλισμούς του είναι ανάλογο της τάσεως της μπαταρίας :

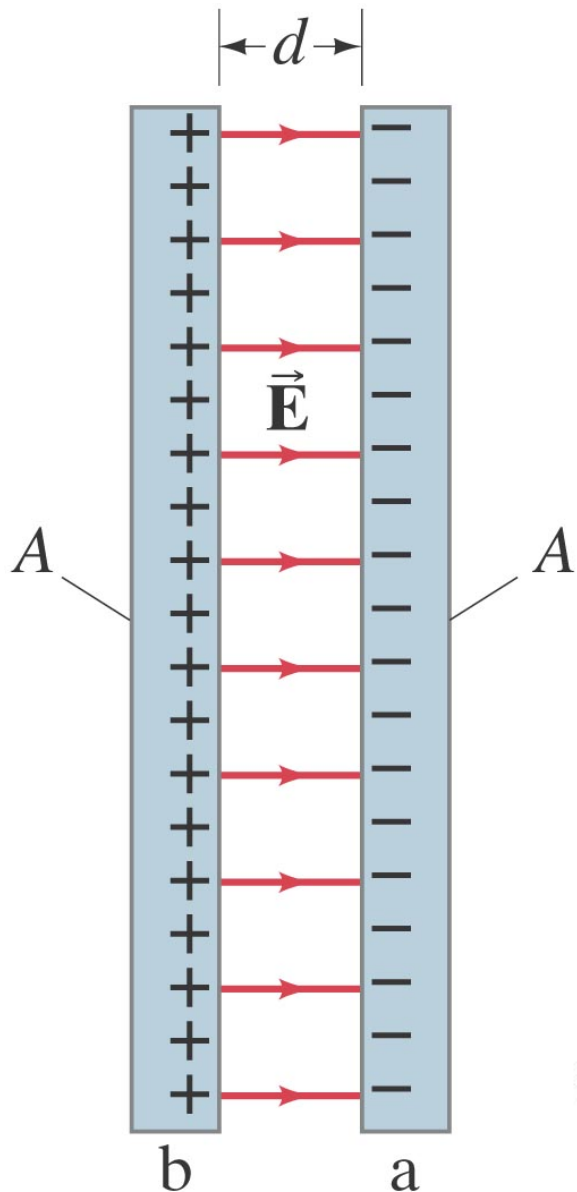
$$Q = CV.$$

Η σταθερά αναλογίας  $C$  ονομάζεται η **χωρητικότητα** του πυκνωτή.

Μονάδα χωρητικότητας: το **farad** (F):

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

## 24-2 Προσδιορισμός χωρητικότητας



Για ένα παράλληλο πυκνωτή όπως αυτός του σχήματος, το πεδίο μεταξύ των οπλισμών είναι

$$E = Q/(\epsilon_0 A).$$

Και επομένως η διαφορά δυναμικού

$$V_{ba} = Qd/(\epsilon_0 A).$$

Η χωρητικότητα τότε είναι:

$$C = \frac{Q}{V} = \epsilon_0 \frac{A}{d}.$$

[parallel-plate capacitor]

(a) Βρείτε την χωρητικότητα για ένα παράλληλο πυκνωτή με οπλισμούς  $20 \text{ cm} \times 3.0 \text{ cm}$  σε απόσταση  $1.0\text{-mm}$  στον αέρα. (b) Πόσο είναι το φορτίο του κάθε οπλισμού εάν συνδεθεί μια  $12 \text{ V}$  μπαταρία; (c) Πόσο είναι το ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ των οπλισμών; (d) Πόση είναι η απαιτούμενη επιφάνεια των οπλισμών ώστε να επιτευχθεί  $1 \text{ F}$  χωρητικότητα δεδομένης της απόστασης  $d$  ;

## ΛΥΣΗ

**APPROACH** The capacitance is found by using Eq. 24-2,  $C = \epsilon_0 A/d$ . The charge on each plate is obtained from the definition of capacitance, Eq. 24-1,  $Q = CV$ . The electric field is uniform, so we can use Eq. 23-4b for the magnitude  $E = V/d$ . In (d) we use Eq. 24-2 again.

**SOLUTION** (a) The area  $A = (20 \times 10^{-2} \text{ m})(3.0 \times 10^{-2} \text{ m}) = 6.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ . The capacitance  $C$  is then

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d} = (8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2) \frac{6.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2}{1.0 \times 10^{-3} \text{ m}} = 53 \text{ pF}.$$

(b) The charge on each plate is

$$Q = CV = (53 \times 10^{-12} \text{ F})(12 \text{ V}) = 6.4 \times 10^{-10} \text{ C}.$$

(c) From Eq. 23-4b for a uniform electric field, the magnitude of  $E$  is

$$E = \frac{V}{d} = \frac{12 \text{ V}}{1.0 \times 10^{-3} \text{ m}} = 1.2 \times 10^4 \text{ V/m}.$$

(d) We solve for  $A$  in Eq. 24-2 and substitute  $C = 1.0 \text{ F}$  and  $d = 1.0 \text{ mm}$  to find that we need plates with an area

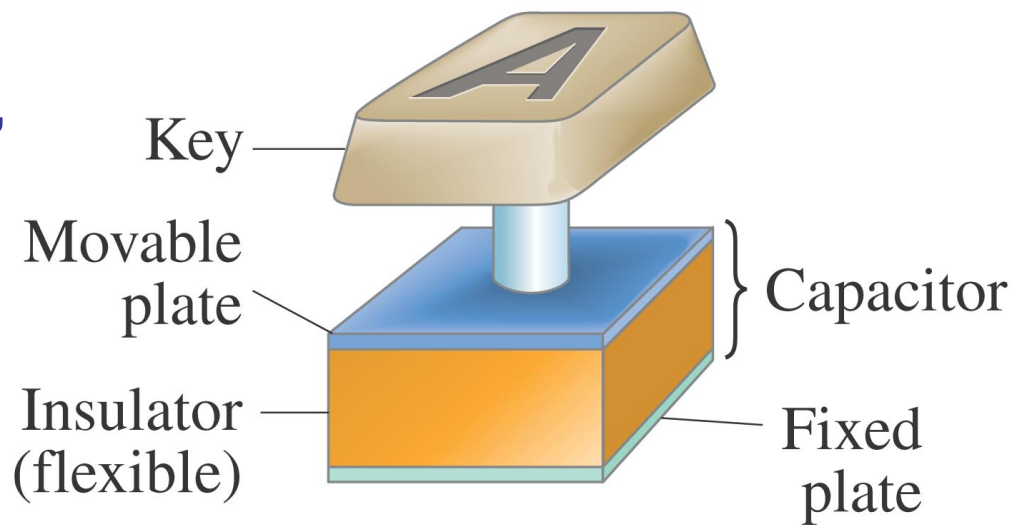
$$A = \frac{Cd}{\epsilon_0} \approx \frac{(1 \text{ F})(1.0 \times 10^{-3} \text{ m})}{(9 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2)} \approx 10^8 \text{ m}^2.$$

**NOTE** This is the area of a square  $10^4 \text{ m}$  or  $10 \text{ km}$  on a side. That is the size of a city like San Francisco or Boston! Large-capacitance capacitors will not be simple parallel plates.

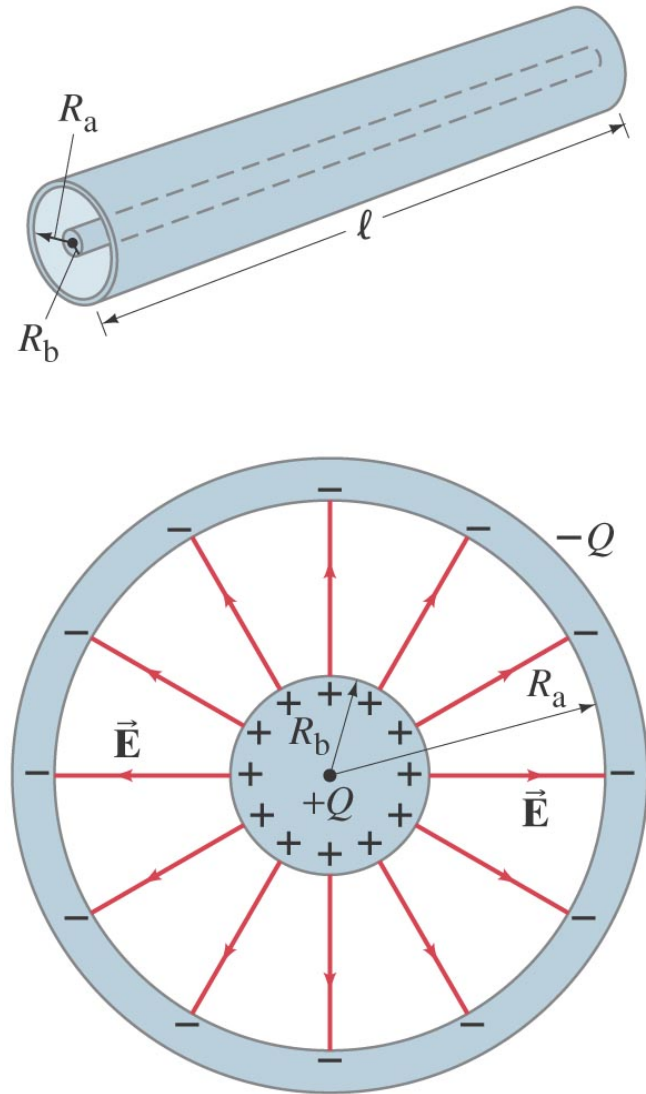


Πυκνωτές με χωρητικότητα 1 F κατασκευάζονται εύκολα πλέον αλλά δεν είναι παράλληλοι πυκνωτές. Χρησιμοποιείται ενεργός άνθρακας όπου 0.1 g αυτού του υλικού παρουσιάζει χωρητικότητα περίπου 1 farad.

Ορισμένα ηλεκτρολόγια χρησιμοποιούν πυκνωτές, π.χ., η μεταβολή της απόστασης που προκαλείται με το πάτημα του πλήκτρου μεταβάλλει την χωρητικότητα ενός πυκνωτή που ανιχνεύεται από το κύκλωμα.



Ένας κυλινδρικός πυκνωτής αποτελείται από ένα καλώδιο ακτίνας  $R_b$  και ένα ομοκεντρικό κυλινδρικό περίβλημα ακτίνας  $R_a$ , με το ίδιο μήκος. Υποθέτουμε ότι το μήκος είναι πολύ μεγαλύτερο από την ακτίνα του πυκνωτή. Όστε να αγνοήσουμε τα «σφάλματα» στα άκρα. Το καλώδιο φέρει φορτίο  $+Q$  και το περίβλημα  $-Q$ . Βρείτε την εξίσωση της χωρητικότητας.



**APPROACH** To obtain  $C = Q/V$ , we need to determine the potential difference  $V$  between the cylinders in terms of  $Q$ . We can use our earlier result (Example 21–11 or 22–6) that the electric field outside a long wire is directed radially outward and has magnitude  $E = (1/2\pi\epsilon_0)(\lambda/R)$ , where  $R$  is the distance from the axis and  $\lambda$  is the charge per unit length,  $Q/\ell$ . Then  $E = (1/2\pi\epsilon_0)(Q/\ell R)$  for points between the cylinders.

**SOLUTION** To obtain the potential difference  $V$  in terms of  $Q$ , we use this result for  $E$  in Eq. 23–4a,  $V = V_b - V_a = -\int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{\ell}$ , and write the line integral from the outer cylinder to the inner one (so  $V > 0$ ) along a radial line:<sup>†</sup>

$$\begin{aligned} V = V_b - V_a &= -\int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = -\frac{Q}{2\pi\epsilon_0\ell} \int_{R_a}^{R_b} \frac{dR}{R} \\ &= -\frac{Q}{2\pi\epsilon_0\ell} \ln \frac{R_b}{R_a} = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0\ell} \ln \frac{R_a}{R_b}. \end{aligned}$$

$Q$  and  $V$  are proportional, and the capacitance  $C$  is

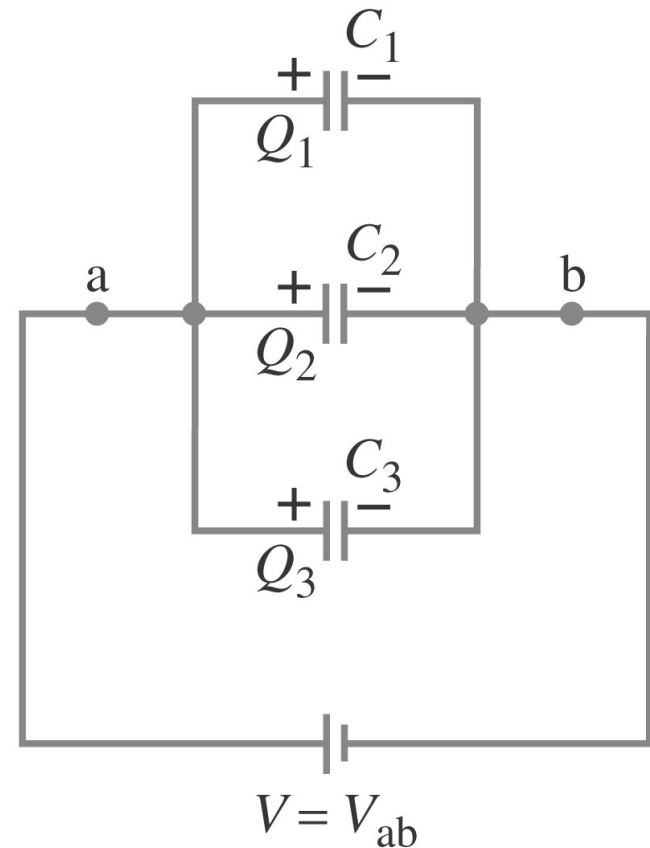
$$C = \frac{Q}{V} = \frac{2\pi\epsilon_0\ell}{\ln(R_a/R_b)}. \quad \text{[cylindrical capacitor]}$$

**NOTE** If the space between cylinders,  $R_a - R_b = \Delta R$  is small, we have  $\ln(R_a/R_b) = \ln[(R_b + \Delta R)/R_b] = \ln[1 + \Delta R/R_b] \approx \Delta R/R_b$  (see Appendix A–3) so  $C \approx 2\pi\epsilon_0\ell R_b/\Delta R = \epsilon_0 A/\Delta R$  because the area of cylinder b is  $A = 2\pi R_b\ell$ . This is just Eq. 24–2 ( $d = \Delta R$ ), a nice check.

## 24-3 Σύνδεση πυκνωτών παράλληλα

Για παράλληλη σύνδεση πυκνωτών, μιας και όλοι θα έχουν την **ίδια τάση στις άκρες τους**, η συνολική χωρητικότητα θα είναι το άθροισμα των επιμέρους χωρητικότητων.

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3.$$

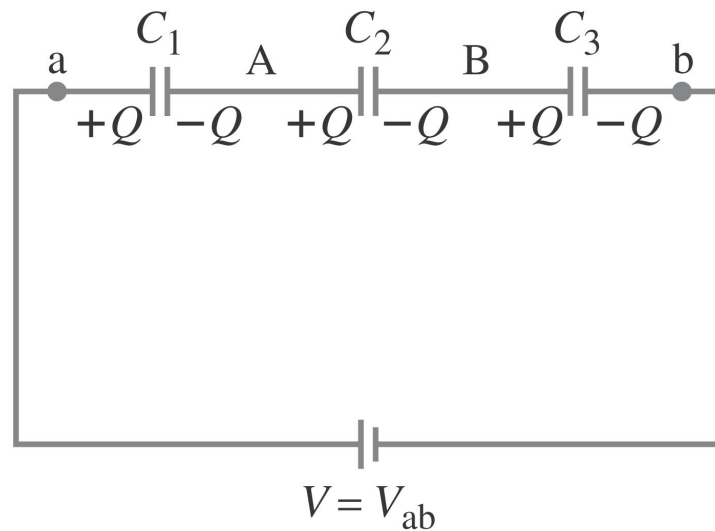


[parallel]

# 24-3 Σύνδεση πυκνωτών σε σειρά

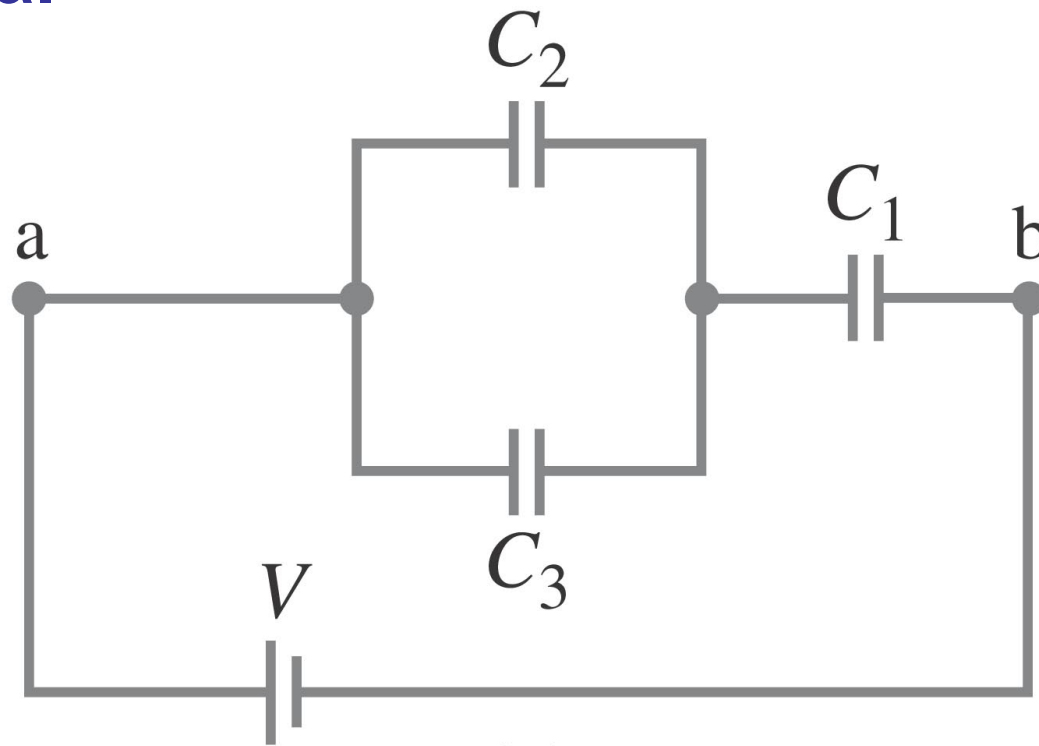
Για σύνδεση σε σειρά ισχύει η σχέση

$$\frac{1}{C_{\text{eq}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}. \quad [\text{series}]$$



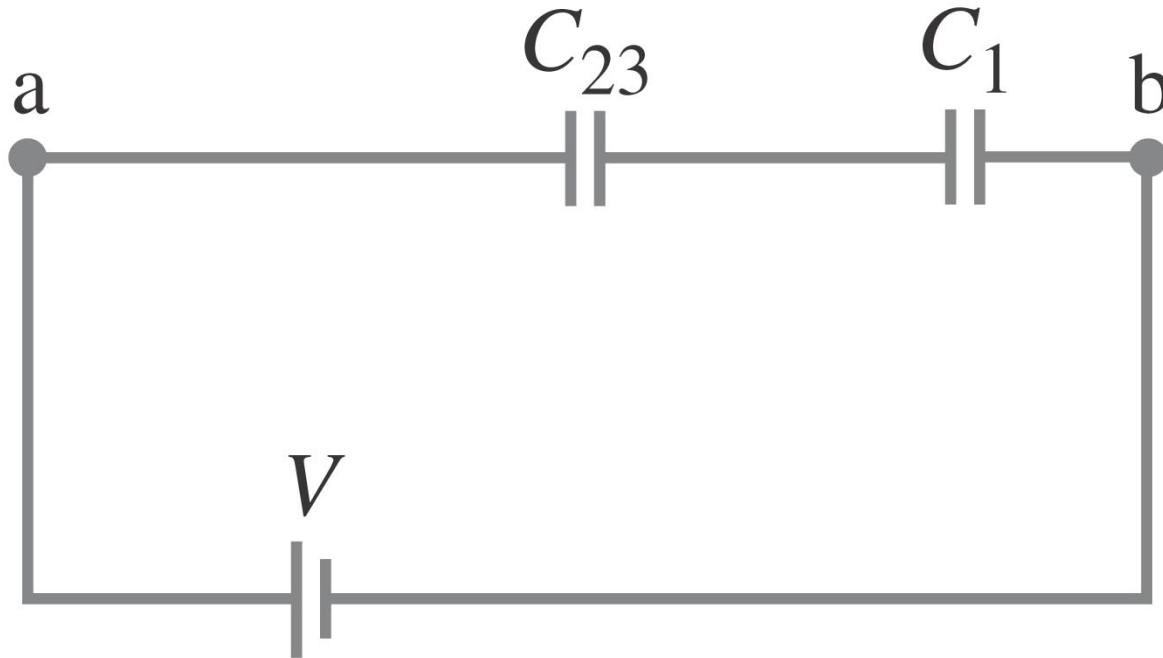
Η συνολική χωρητικότητα **ΜΕΙΩΝΕΤΑΙ**

Βρείτε τη συνολική χωρητικότητα για το κύκλωμα.



**ΛΥΣΗ**

Εάν  $V = 4.0 \text{ V}$  , βρείτε τα φορτία και την τάση κάθε πυκνωτή όταν  $C = 3.0 \mu\text{F}$ .



**ΛΥΣΗ**

$$V_1 = 2.7 \text{ V}, V_2 = 1.3 \text{ V}, V_3 = 1.3 \text{ V}$$

## 24-4 Αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας

Ένας φορτισμένος πυκνωτής αποτελεί αποθήκη (ρεζερβουάρ) ηλεκτρικής ενέργειας:

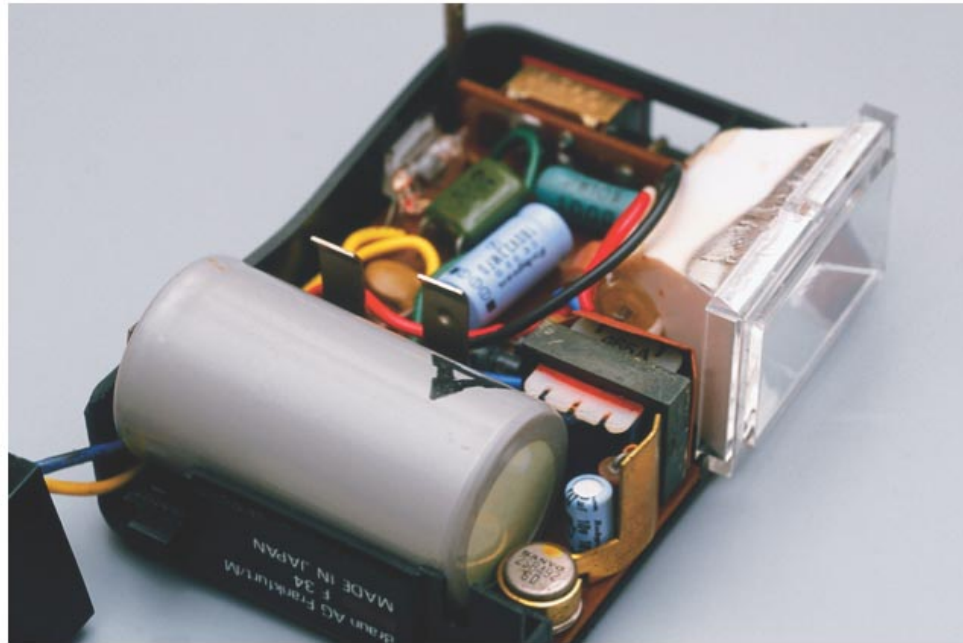
$$U = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} QV.$$



# 24-4 Electric Energy Storage

**Example 24-8: Energy stored in a capacitor.**

Το φλας μιας κάμερας αποτελείται από πυκνωτή με χωρητικότητα  $150\text{-}\mu\text{F}$  στα  $200\text{ V}$ . (a) Πόση είναι η αποθηκευμένη ηλεκτρική ενέργεια; (b) Πόση είναι η ισχύς του φλας εάν όλη η ενέργεια εκλύεται σε  $1.0\text{ ms}$ ?



**Η ενεργειακή πυκνότητα ορίζεται ως η ενέργεια ανά μονάδα όγκου, ανεξαρτήτως ηλεκτρικού πεδίου:**

$$u = \text{energy density} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2.$$

**Η ξαφνική αποφόρτιση ενός πυκνωτή μπορεί να είναι ΘΑΝΑΤΗΦΟΡΑ. Ο πυκνωτής παραμένει φορτισμένος ακόμη και όταν έχει αποσυνδεθεί από τη μπαταρία (τροφοδοσία)! Για την αποφυγή ατυχημάτων όταν αποθηκεύουμε μεγάλης χωρητικότητας πυκνωτές, βραχυκυκλώνουμε τους οπλισμούς τους.**

**Οι απινιδωτές  
καρδιάς, σώζουν  
ζωές, ανακινώντας  
τη λειτουργία της  
καρδιάς μέσω  
ηλεκτρικών  
αποφορτίσεων**



## 24-5 Διηλεκτρικά

Το διηλεκτρικό είναι μονωτής που χαρακτηρίζεται από μια διηλεκτρική σταθερά  $K$ .

Η χωρητικότητα ενός πυκνωτή με διηλεκτρικό χώρισμα μεταξύ των οπλισμών είναι:

$$C = K\epsilon_0 \frac{A}{d} \quad [\text{parallel-plate capacitor}]$$

Ορίζουμε την ηλεκτρική διαπερατότητα υλικών από τη διηλεκτρική σταθερά:

$$\epsilon = K\epsilon_0.$$

# 24-5 Διηλεκτρικά

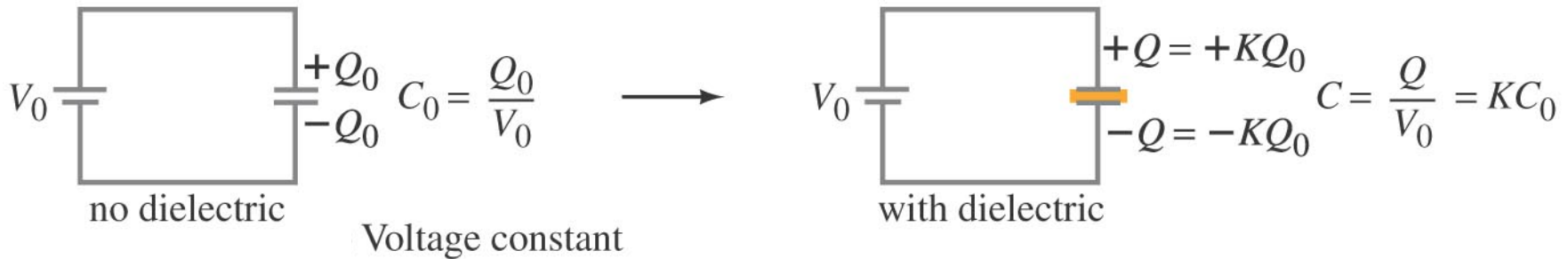
**TABLE 24-1**  
**Dielectric Constants (at 20°C)**

Material	Dielectric constant $K$	Dielectric strength (V/m)
Vacuum	1.0000	
Air (1 atm)	1.0006	$3 \times 10^6$
Paraffin	2.2	$10 \times 10^6$
Polystyrene	2.6	$24 \times 10^6$
Vinyl (plastic)	2-4	$50 \times 10^6$
Paper	3.7	$15 \times 10^6$
Quartz	4.3	$8 \times 10^6$
Oil	4	$12 \times 10^6$
Glass, Pyrex	5	$14 \times 10^6$
Porcelain	6-8	$5 \times 10^6$
Mica	7	$150 \times 10^6$
Water (liquid)	80	
Strontium titanate	300	$8 \times 10^6$

Η διηλεκτρική ισχύς είναι το μέγιστο ηλεκτρικό πεδίο που μπορεί να δεχτεί ένα διηλεκτρικό πριν παρουσιαστεί ηλεκτρική εκκένωση.

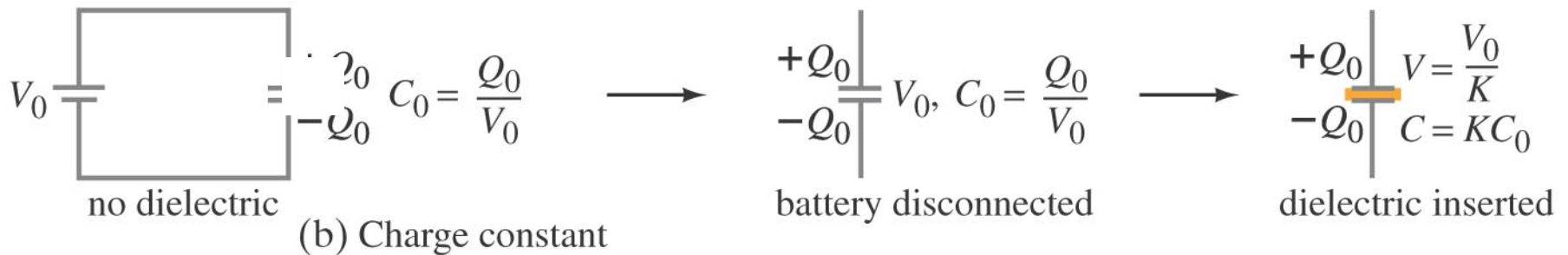
# 24-5 Διηλεκτρικά

Η αντικατάσταση του αέρα/κενού σε έναν πυκνωτή με διηλεκτρικό υλικό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της χωρητικότητας του πυκνωτή.



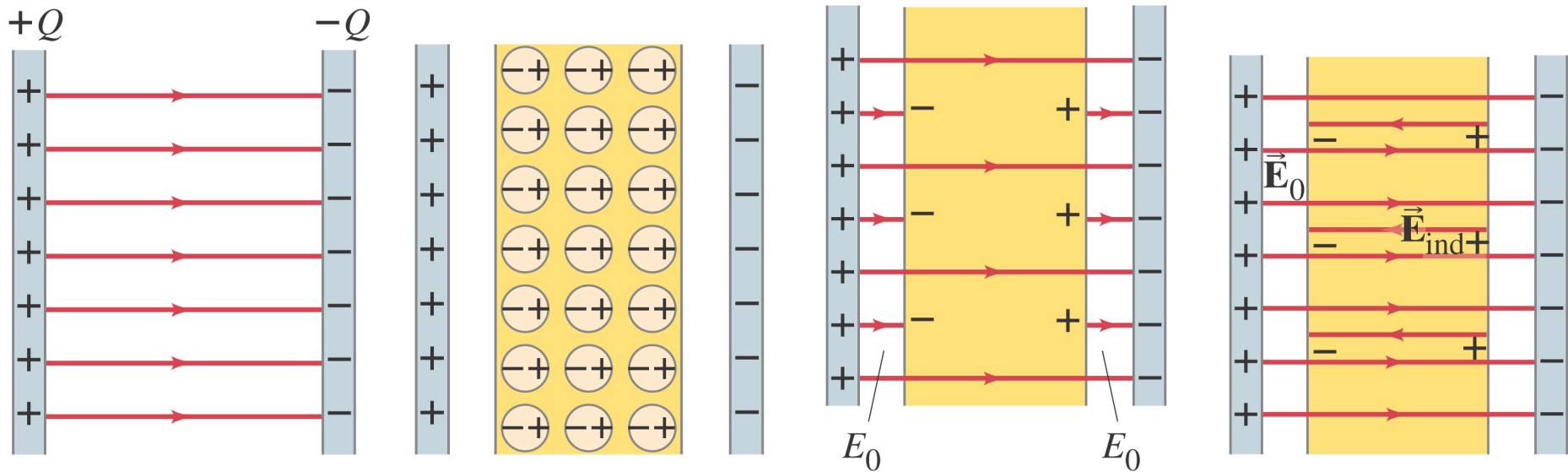
# 24-5 Διηλεκτρικά

Φορτίζουμε έναν πυκνωτή και στη συνέχεια αποσυνδέουμε τη μπαταρία. Εάν εισάγουμε ένα διηλεκτρικό στο κενό μεταξύ των οπλισμών τότε η τάση μεταξύ των οπλισμών μειώνεται εξ αιτίας της αύξησης της χωρητικότητας (τα φορτία των οπλισμών παραμένουν σταθερά εφόσον δεν έχουμε πλέον συνδεδεμένη τη μπαταρία).



# 24-6 Μοριακή περιγραφή των διηλεκτρικών

Η «πόλωση» των μορίων ενός διηλεκτρικού έχει σαν αποτέλεσμα την ουσιαστική μερική μείωση του εξωτερικού πεδίου.





## 24-6 Μοριακή περιγραφή των διηλεκτρικών

Επειδή το ηλεκτρικό πεδίο μέσα στο διηλεκτρικό είναι μικρότερο απ' ό,τι στον αέρα, αυτό σημαίνει ότι μπορούμε να αποθηκεύσουμε περισσότερα φορτία για την ίδια τάση. Αν και δεν υπάρχει περίσσια φορτίου στο διηλεκτρικό, η πόλωση των μορίων δημιουργεί ένα «επαγόμενο» φορτίο.

Το μέγεθος του επαγόμενου φορτίου εξαρτάται από τη διηλεκτρική σταθερά μέσω της σχέσης:

$$Q_{\text{ind}} = Q \left( 1 - \frac{1}{K} \right).$$