

F-328 – Física Geral III

Aula exploratória-05

UNICAMP – IFGW

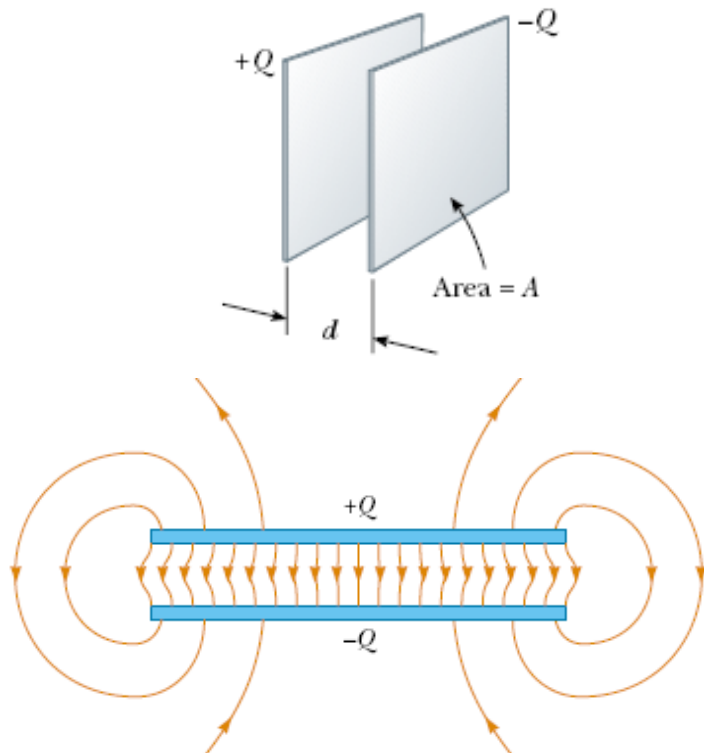
username@ifi.unicamp.br

F328 – 2S2016

Capacitância

Capacitores

O capacitor mais convencional é o de *placas paralelas*. Em geral, dá-se o nome de *placas do capacitor (ou armaduras)* aos condutores que o compõem, independentemente das suas formas.



Capacitor de placas paralelas



Outros capacitores

Associação de capacitores em paralelo

$$q_1 = C_1 V, \quad q_2 = C_2 V \quad \text{e} \quad q_3 = C_3 V$$

$$q = q_1 + q_2 + q_3 \Rightarrow q = (C_1 + C_2 + C_3)V$$

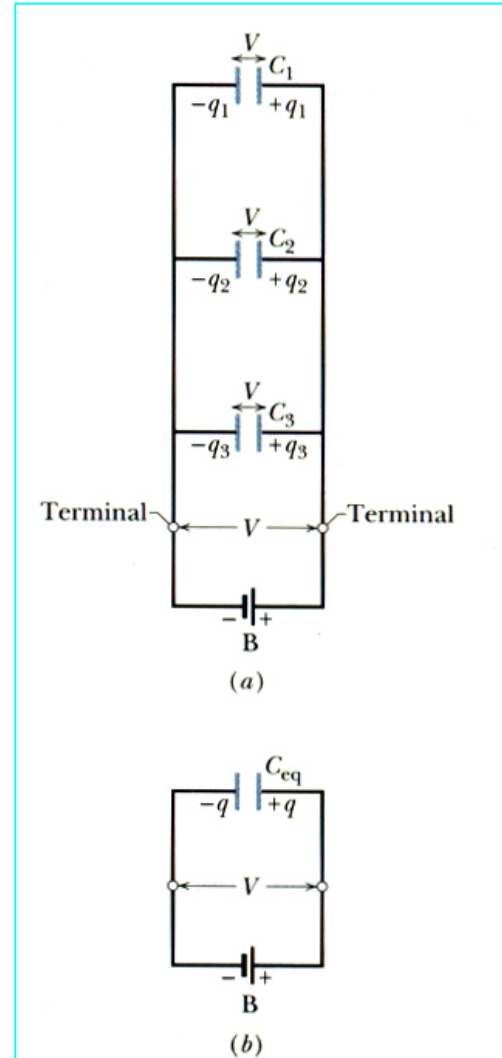
Como $q = C_{eq} V$



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

ou

$$C_{eq} = \sum_i C_i$$



Associação de capacitores em série

$$q = C_1 V_1, \quad q = C_2 V_2 \quad \text{e} \quad q = C_3 V_3$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right)$$

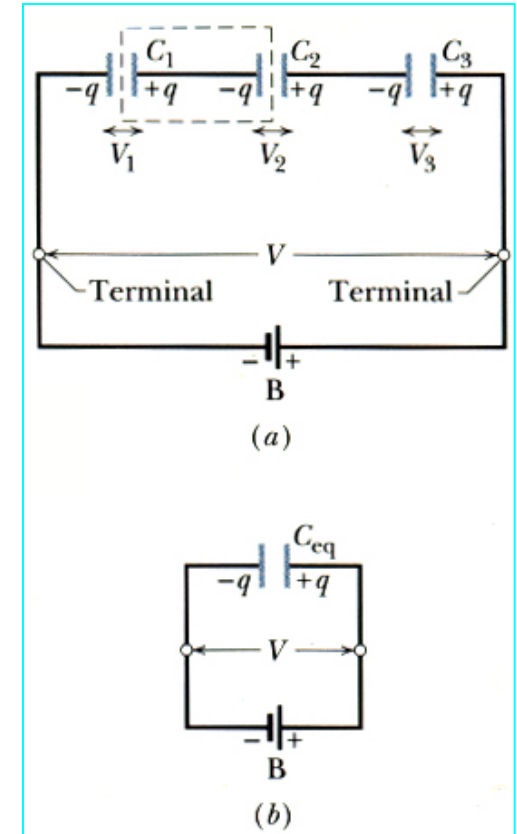
Como $V = \frac{q}{C_{eq}}$:



$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

ou

$$\frac{1}{C_{eq}} = \sum_i \frac{1}{C_i}$$



Questão 01 - Dielétrico

Três capacitores, C_1 , C_2 e C_3 são conectados em paralelo a uma bateria. Enquanto a bateria ainda está conectada, um material dielétrico é introduzido entre as placas do capacitor C_3 . Comparando com a situação inicial com aquela depois da inserção do dielétrico, qual das seguintes afirmações é verdadeira?

Escolha uma:

- ☐ ambas as cargas nos capacitores C_1 e C_2 diminuem;
- ☒ as cargas nos capacitores C_1 e C_2 permanecem as mesmas, mas a carga de C_3 aumenta;
- ☐ ambas as cargas nos capacitores C_1 e C_2 aumentam;
- ☐ a carga no capacitores C_1 aumenta, mas as cargas de C_2 e C_3 diminuem;
- ☐ as cargas nos capacitores C_1 e C_2 permanecem as mesmas, mas a carga de C_3 diminui.

Capacitores com dielétricos

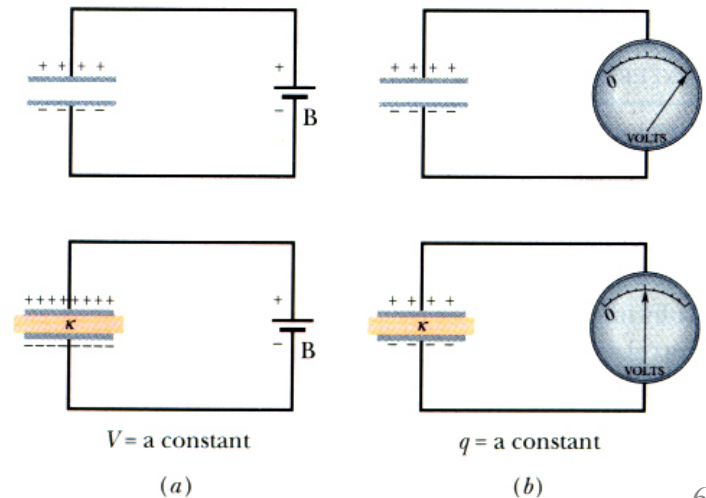
Ao colocarmos um material dielétrico entre as placas de um capacitor, se V é mantido constante, a carga das placas *aumenta*; se Q é mantida constante, V *diminui*. Como $Q = CV$, ambas as situações são compatíveis com o fato de que o dielétrico entre as placas do capacitor *faz a sua capacitância aumentar*.

Vimos: $C_0 = \epsilon_0 \mathcal{L}$, onde \mathcal{L} é um fator que depende apenas da geometria e tem dimensão de comprimento.

Então, na presença de um dielétrico preenchendo *totalmente* o capacitor:

$$C_d = \kappa \epsilon_0 \mathcal{L} = \kappa C_0, \text{ onde } \kappa > 1$$

No vácuo, $\kappa = 1$



Lei de Gauss com dielétricos

$$(a): \oint_S \vec{E}_0(\vec{r}) \cdot \hat{n} dA = \frac{q}{\epsilon_0} \longrightarrow E_0 = \frac{q}{\epsilon_0 A}$$

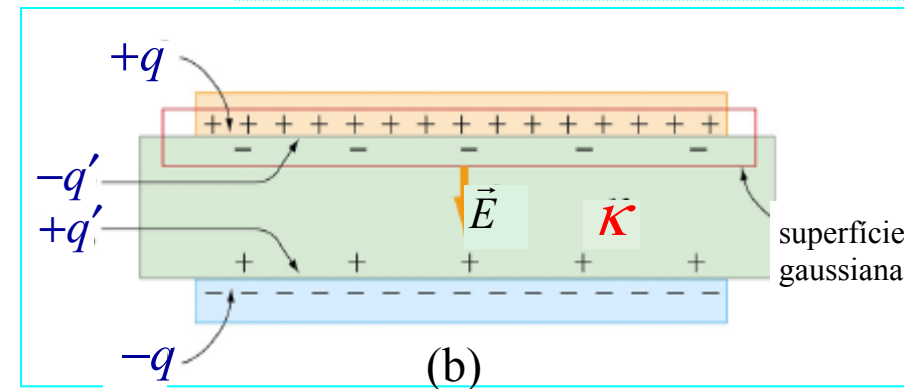
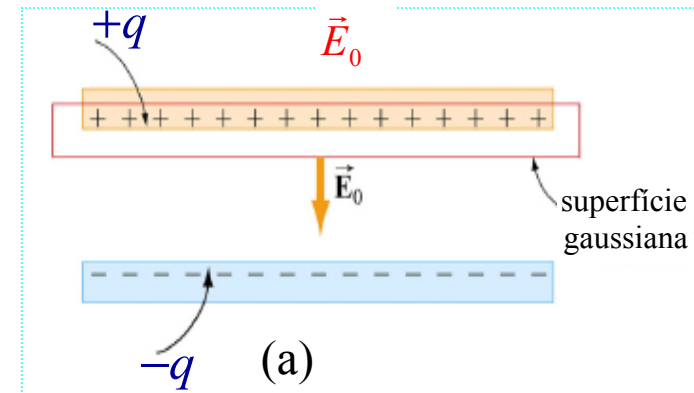
$$(b): \oint_S \vec{E}(\vec{r}) \cdot \hat{n} dA = \frac{q - q'}{\epsilon_0} \longrightarrow E = \frac{q - q'}{\epsilon_0 A}$$

$$E = \frac{E_0}{\kappa} = \frac{q}{\kappa \epsilon_0 A} = \frac{q - q'}{\epsilon_0 A} \therefore q - q' = \frac{q}{\kappa}$$

$$\text{Em (b): } \oint_S \vec{E}(\vec{r}) \cdot \hat{n} dA = \frac{q}{\kappa \epsilon_0}$$

$$\text{Ou: } \oint_S \vec{D}(\vec{r}) \cdot \hat{n} dA = q,$$

onde $\vec{D}(\vec{r}) \equiv \kappa \epsilon_0 \vec{E}(\vec{r})$ é o vetor de deslocamento elétrico.



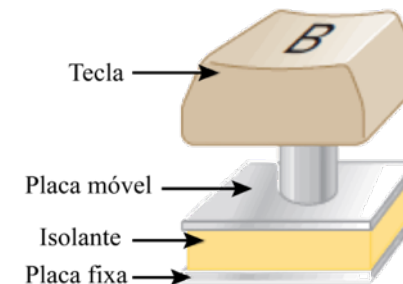
Então, na lei de Gauss expressa com o vetor \vec{D} , aparecem apenas as *cargas livres* (das placas).

Questão 02

Muitos botões do teclado de computador são construídos com capacitores, como mostrado na figura abaixo. Quando uma tecla é pressionada para baixo, o isolante macio entre a placa móvel e a placa fixa é compactado. Quando a tecla é pressionada, qual das afirmações seguintes é verdadeira?

Escolha uma:

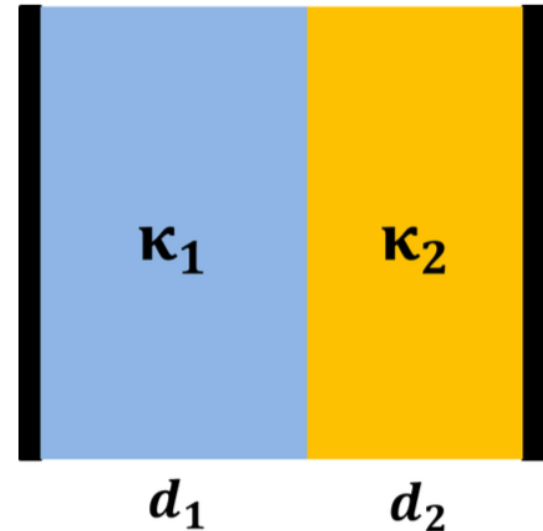
- ☒ A capacitância aumenta porque a distância entre as placas diminui;
- ☐ A capacitância aumenta porque cargas do dedo passam para as placas;
- ☐ A capacitância diminui porque o isolante fica mais denso;
- ☐ A capacitância diminui porque a corrente gerada diminui a energia armazenada no capacitor;
- ☐ Todas as alternativas estão incorretas.



Exercício Exploratório 1

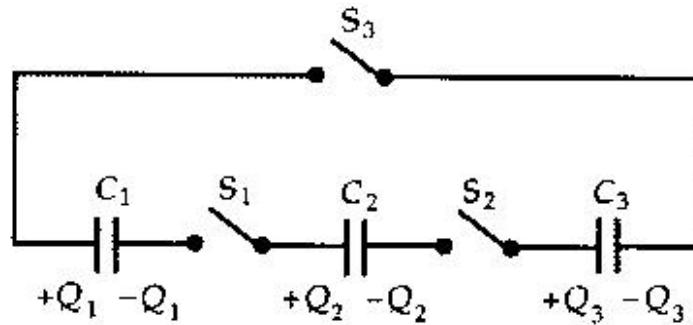
O espaço entre as placas de um capacitor plano de área A , está preenchido por duas camadas dielétricas adjacentes, de espessuras d_1 e d_2 e constantes dielétricas κ_1 e κ_2 . A diferença de potencial entre as placas é V e o campo aponta de 1 para 2. Ache:

- a) A capacitância C do capacitor;
- b) A densidade superficial de carga livre σ nas placas;
- c) A densidade superficial de carga σ_p na interface dos dielétricos;
- d) Calcule a energia eletrostática total armazenada no sistema.



Exercício Exploratório 2

Uma combinação em paralelo de três capacitores $C_1=2\ \mu\text{F}$, $C_2=4\ \mu\text{F}$ e $C_3=6\ \mu\text{F}$ é carregada com uma fonte de 200V. Os capacitores são então desconectados da fonte de tensão e um do outro, e reconectados com suas placas positivas ligadas às placas negativas, conforme figura abaixo:



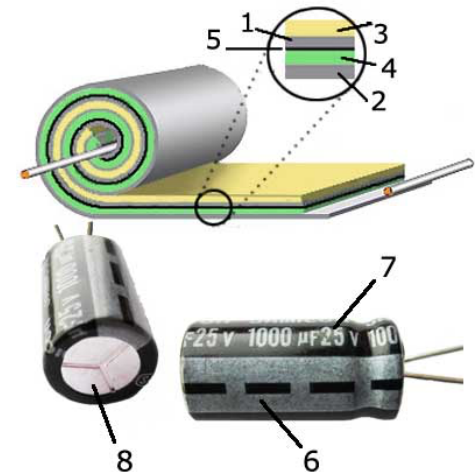
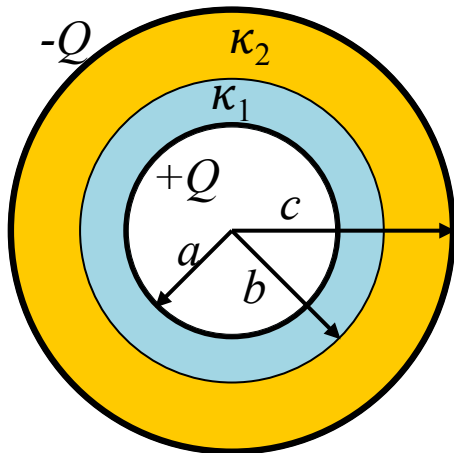
- Qual é a tensão entre os terminais de cada capacitor com as chaves S_1 e S_2 fechadas e S_3 aberta?
- Após a chave S_3 ser fechada, qual a carga final em cada capacitor?
- Qual a *ddp* entre os terminais de cada capacitor após a chave S_3 ser fechada.

Exercício Prático 01

Um capacitor cilíndrico é composto de dois cilindros condutores, de raios a e c , e duas camadas dielétricas de constantes dielétrica κ_1 e κ_2 que preenchem os espaços entre os cilindros de acordo com a figura abaixo.

- (a) Encontre o campo elétrico em todas as regiões do espaço.
- (b) Encontre uma expressão para a diferença de potencial elétrico entre os dois cilindros condutores.
- (c) Qual é a capacitância C desse sistema?
- (d) Calcule novamente a capacitância C , considerando agora que a distância $d = b - a$ entre as placas é muito pequena em comparação com a e tomando $\kappa_1 = \kappa_2 = \kappa$.

Dica: $\ln(1 + x) = x - \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{3}x^3 - \frac{1}{4}x^4 + \dots$ para $-1 < x < 1$.



Exercício 01 - Extra

Duas esferas condutoras isoladas de raios idênticos R possuem cargas $+Q$ e $-Q$, respectivamente. Se elas forem separadas de uma distância grande comparativamente a seus raios, qual será a capacitância desse capacitor pouco usual?

Resp:
$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 R}{\left(1 - \frac{R}{d}\right)}$$
$$\therefore C \approx 2\pi\epsilon_0 R \quad ; \text{ para } d \gg R.$$

Exercício -02 Extra

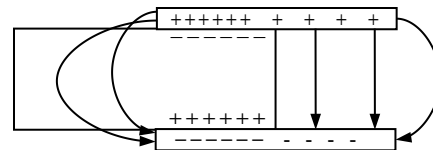
O espaço entre as placas de um capacitor plano, com um volume de 20 cm^3 , está cheio com um dielétrico ($\epsilon = 5$). As placas do capacitor estão ligadas a uma fonte de energia. A densidade superficial de cargas ligadas no dielétrico é igual $8.35 \times 10^{-6} \text{ C} / \text{m}^2$.

Que trabalho deve ser realizado contra a força devida ao campo eléctrico para levar o dielétrico para fora do capacitor? Resolva este problema para dois casos:

- a) o dielétrico é removido com a fonte de energia desligada;
- b) o dielétrico é removido com a fonte de energia ligada.

Resp. Por cálculo de energia

$$q = \frac{k-1}{k} Q = 8.35 \times 10^{-6} \text{ C} / \text{m}^2$$



Exercício 03 - Extra

Um capacitor de capacitância $C_1=4,0 \mu\text{F}$ é ligado em série com um capacitor de capacitância $C_2= 6,0 \mu\text{F}$ através de uma diferença de potencial de 100 V.

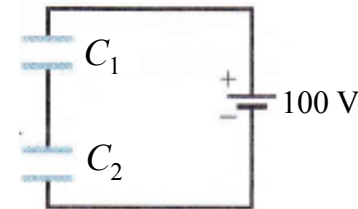
a) calcule a carga e a ddp de cada capacitor;

b) os capacitores são desligados da fonte e desligados um do outro e em seguida são novamente conectados através das placas que possuem cargas de mesmo sinal. Calcule a carga final e a ddp através de cada capacitor.

c) Calcule a variação da energia entre as situações a) e b);

a) em série:

$$C_{eq} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = 2,4 \mu\text{F} \Rightarrow q = C_{eq} V = 240 \mu\text{C}$$
$$q_1 = q_2 = 240 \mu\text{C} \Rightarrow V_1 = \frac{q_1}{C_1} = 60\text{V} ; V_2 = \frac{q_2}{C_2} = 40\text{V}$$



a) em paralelo:

$$q'_1 + q'_2 = q_1 + q_2 = 480 \mu\text{C}$$
$$(C_1 + C_2)V' = 480 \mu\text{C} \Rightarrow V' = 48 \text{ V}$$
$$q'_1 = C_1 V' = 192 \mu\text{C} ; q'_2 = C_2 V' = 288 \mu\text{C}$$

