Cap 22 - [illegible] 19 - Resumo

Cap 22 - Carga elétrica e campo elétrico

22.3 - Carga elétrica e estrutura da matéria

Princípio da conservação da carga elétrica:

A soma algébrica de todas as cargas elétricas do sistema permanece constante em um sistema isolado.

(A carga não é criada nem destruída, é apenas transferida de um corpo a outro)

Princípio **Quantização da carga elétrica:**

O módulo da carga elétrica do e^- ou e^+ é uma unidade de carga natural, ou seja, qualquer qtd de carga observada é sempre um múltiplo inteiro dessa unidade básica.

22.4 - Condutores, isolantes e cargas induzidas

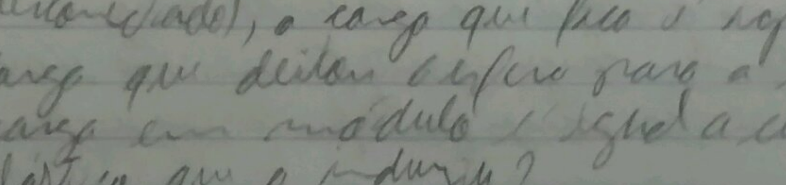
? **Dúvida:** Quando uma esfera condutora é carregada por indução (caso do fio de cobre ser ligado à terra e depois desconectado), a carga que fica é igual em módulo à carga que deixou a esfera para a Terra, porém essa carga em módulo é igual à carga do bastão de plástico que a induziu?

22.5 - Lei de Coulomb

$\boxed{F \propto \dfrac{1}{r^2}}$ | $r = x \Rightarrow F \propto \dfrac{1}{x^2}$ | $r = 2x \Rightarrow F \propto \dfrac{1}{(2x)^2} \Rightarrow F \propto \dfrac{1}{4} \cdot \dfrac{1}{x^2}$

$r = \dfrac{1}{2}x \Rightarrow F \propto \dfrac{1}{(\frac{1}{2}x)^2} \Rightarrow F \propto \dfrac{1}{\frac{x^2}{4}} \Rightarrow F \propto 4 \cdot \dfrac{1}{x^2}$

$\boxed{F = k \dfrac{|q_1 q_2|}{r^2}} \Rightarrow$ módulo da força



$\vec{F}_{1/2} = -\vec{F}_{2/1}$

• As forças obedecem à Terceira lei de Newton: sempre possuem o mesmo módulo e sentido contrário, mesmo qdo as cargas não são de magnitude iguais.

$$\boxed{F_{12} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|q_1 q_2|}{r^2}\hat{r}_{12}}$$ (Lei de Coulomb: força entre cargas puntiformes).

$\hat{r}_{12}$ = vetor unitário orientado de q_1 p/ q_2

$\varepsilon_0 = 8{,}854 \cdot 10^{-12}\ C^2/N \cdot m^2$

$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 8{,}988 \cdot 10^9\ N \cdot m^2/C^2 \approx 9{,}0 \cdot 10^9\ \frac{N \cdot m^2}{C^2}$

. Unidade fundamental de carga elétrica: módulo da carga do próton ou do elétron.

$e = 1{,}60217733(49) \cdot 10^{-19} C \approx 1{,}6 \cdot 10^{-19} C$

. Coulomb: A.s ou módulo da carga elétrica de aproximadamente $6 \cdot 10^{18}$ elétrons.

. Valores típicos de carga elétrica livre: 10^{-9} à $10^{-6} C$

. Princípio de superposição: quando duas cargas exercem uma força sobre uma terceira carga, a força total é a soma vetorial da força que as outras duas cargas exercem individualmente. Segundo desse modo para qualquer conjunto de cargas.

. Aplicação da lei de Coulomb: cargas puntiformes no vácuo, porém na prática usa-se para cargas puntiformes no ar sem grandes alterações.

Serway 19.5 - Campos Elétricos

Definição de campo elétrico:

$$\boxed{E \equiv \frac{F_e}{q_o}}$$

q_o por convenção é sempre positivo e sempre << que a partícula fonte

E não é o campo da partícula, mas o campo produzido por alguma partícula bem separada.

Unidade: (N/C)

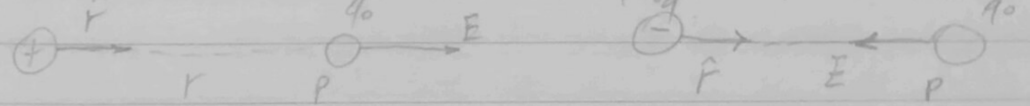
Direção: A mesma de F_e

Conhecendo-se o campo: $\boxed{F_e = qE}$

Campo elétrico de uma carga pontual:

$$\boxed{E = k_e \frac{q}{r^2}\hat{r}}$$ *pela def. de campo elétrico

$\hat{r}$ é um vetor unitário de q para q_o



*pois q_o é sempre positivo e E não depende de q_o

Princípio de Superposição:

$$\boxed{E = k_e \sum_i \frac{q_i}{r_i^2}\hat{r}_i}$$

Campo elétrico de uma distribuição contínua de cargas:

- Calcula-se o campo ΔE devido a um elemento Δq, tratando-o como uma carga pontual, ∴

$$\boxed{\Delta E_i = k_e \frac{\Delta q_i}{r_i^2}\hat{r}_i}$$

- O campo elétrico total é a soma vetorial desses elementos:

$$\boxed{E \approx k_e \sum_i \frac{\Delta q_i}{r_i^2}\hat{r}_i}$$

- Aplica-se o modelo de distribuição contínua, considerando os elementos de carga infinitesimalmente pequenos:

$$\boxed{E = \lim_{\Delta q \to 0} k_e \sum_i \frac{\Delta q_i}{r_i^2}\hat{r}_i = k_e \int \frac{dq}{r^2}\hat{r}}$$

- Em resumo:

$$\boxed{E = k_e \int \frac{dq}{r^2}\hat{r}}$$ ou $E = k_e \int_a^b \frac{dq}{r^2}\hat{r}$

4 | 1 | 1

Densidade de carga:

- Carga por unidade de volume (C/m^3):

$$\boxed{\rho \equiv \frac{Q}{V}}$$

- Carga por unidade de área (C/m^2):

$$\boxed{\sigma \equiv \frac{Q}{A}}$$

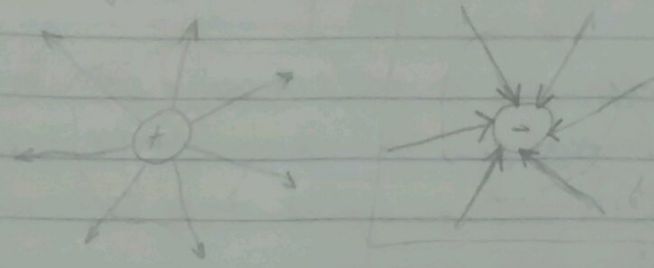
- Carga por unidade de comprimento (C/m):

$$\boxed{\lambda \equiv \frac{Q}{l}}$$

credeal

Serway - 19.6 - Linhas de Campo Elétrico

- Representam o campo elétrico em qualquer região do espaço da seguinte maneira:
  - O vetor E é tangente à linha de campo.
  - O número de linhas é proporcional à magnitude do campo.
- Representação:



Carga negativa: linhas entram na carga

nº de linhas constante por unidade de área significa um campo uniforme magnitude e direção constantes

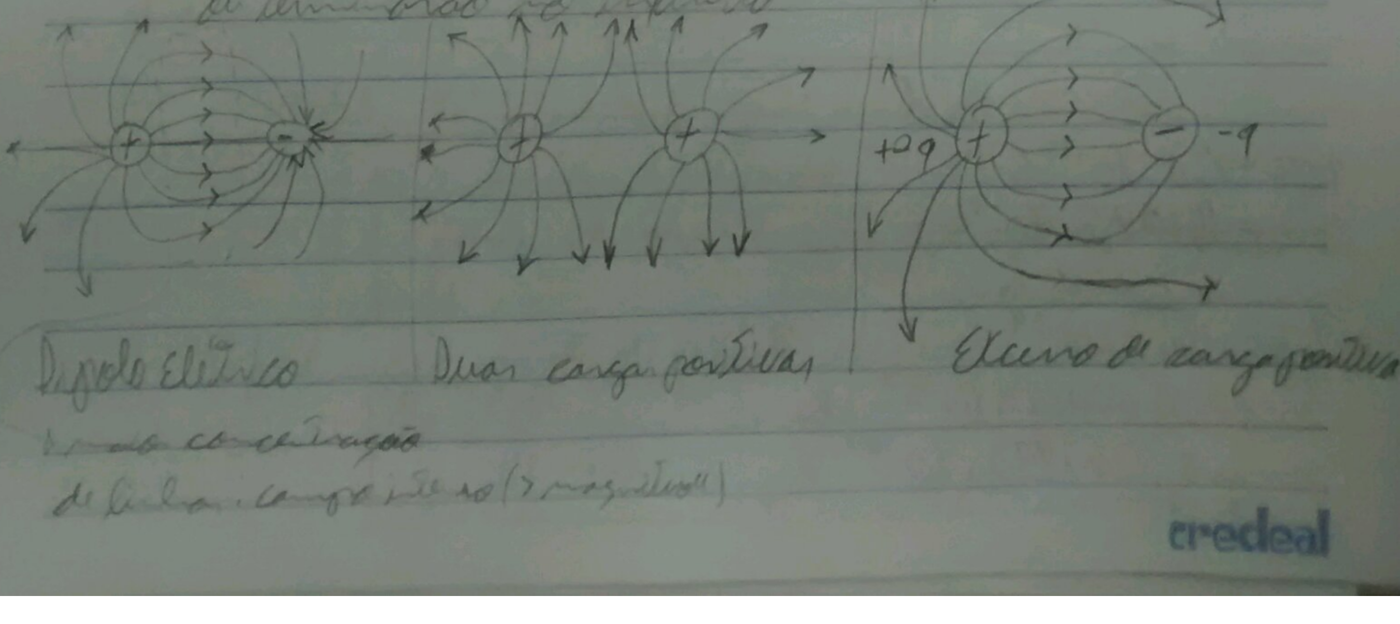
Cargas positivas: linhas saem da carga

OBS: lembrar que a partícula de prova tem sempre carga positiva

OBS 2: No caso de dipolo sai do positivo e entra no negativo. Exemplo abaixo

- Campo é mais intenso onde tem maior nº de linhas por unidade de área

- Distribuição de cargas
  - Linhas começam no positivo e terminam no negativo
  - Número de linhas começando ou terminando em uma carga é proporcional à magnitude do campo
  - Duas linhas não podem se cruzar.
  - No caso de excesso de um tipo de carga linhas começam ou terminam no infinito



Dipolo Elétrico — Duas cargas positivas — Excesso de carga positiva

> maior concentração de linhas, campo intenso (> magnitude)

06 | 1

19.7 - Movimento de partículas carregadas em um campo Elétrico Uniforme

- Se F_e for a única força que constitui a força resultante em um campo E fazendo a partícula acelerar então:

$$F_e = q.E = m.a \Rightarrow \boxed{a = \frac{qE}{m}}$$

  - Se campo E é uniforme, a aceleração é constante
  - carga negativa: aceleração em sentido contrário do campo

- Se a aceleração é constante podemos aplicar as eq. cinemáticas:

$$S_f = S_i + V_i.t + \frac{1}{2}a.t^2$$
$$V_f = V_i + a.t$$
$$V_f^2 = V_i^2 + 2.a.\Delta S$$

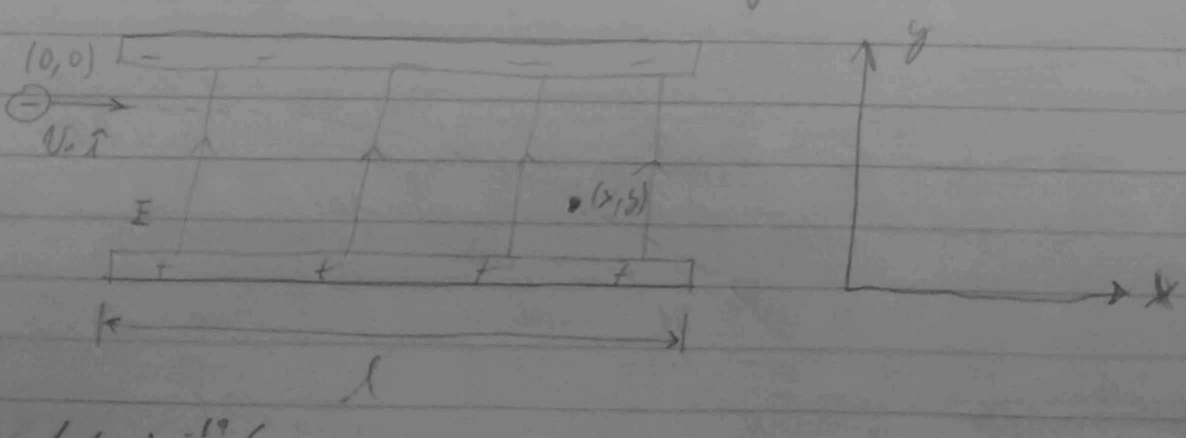
- Se a velocidade é constante podemos aplicar:

$$S_f = S_i + V_i.t$$

- Por fim, podemos quantificar a energia cinética com:

$$K = \frac{1}{2} m V^2$$

- Elétron em um campo



$q_e = -1,6.10^{-19}$ C
$m_e = 9,1095.10^{-31}$

- Outras cargas

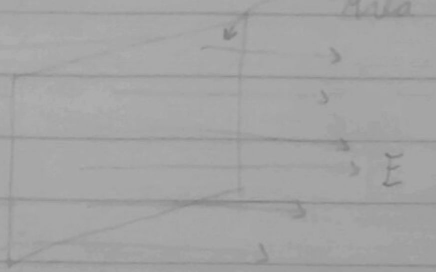
$q_p = 1,6.10^{-19}$ C
$m_p = 1,67261.10^{-27}$ Kg
$m_n = 1,67492.10^{-27}$ Kg

Semana - 19.3 - Fluxo Elétrico

• Lida com o campo de maneira quantitativa

• É proporcional ao nº de linhas de campo (linhas proporcional para o nº de linhas que se escolhe desenhar arbitrariamente)

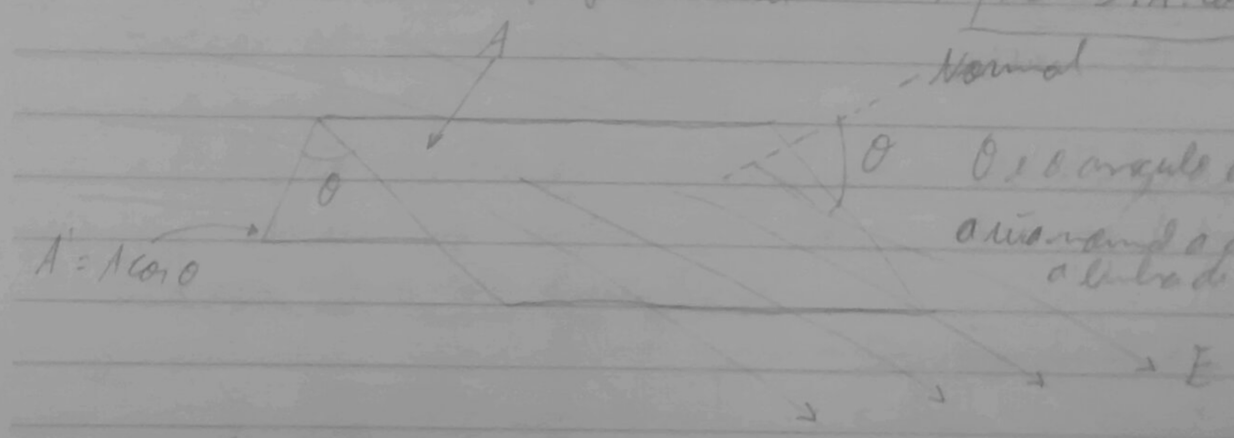
• Se E é uniforme então $\boxed{\Phi = E \cdot A}$



e é perpendicular ao campo

Unidade: $\frac{N}{C} \cdot m^2$

- Se A não é perpendicular então: $\boxed{\Phi_E = E \cdot A \cdot \cos\theta}$



θ é o ângulo entre a normal à área e a linha de campo E

• Se E não for uniforme na superfície em questão então a def. Φ_E só faz sentido em um pequeno elemento de área ΔA_i e portanto:

$$\boxed{\Delta \Phi_E = E_i \, \Delta A_i \cos\theta_i = E_i \cdot \Delta A_i}$$

- ΔA_i tem módulo igual à área do elemento
- ΔA_i é normal à área
- ΔA_i convencionalmente aponta para fora de uma superfície fechada

• Definição geral de fluxo elétrico (somando os $\Delta \Phi_E$):

$$\boxed{\Phi_E \equiv \lim_{\Delta A_i \to 0} \sum E_i \cdot \Delta A_i = \int_{\text{superfície}} E \cdot dA}$$

08/ 1

• O fluxo é proporcional ao nº de linhas que entram menos o nº de linhas que saem

$$\boxed{\Phi_E = \oint E \cdot dA = \oint E_n \, dA}$$

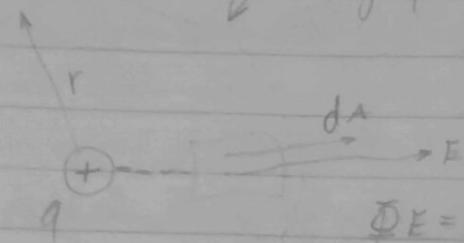
→ componente do campo normal à superfície?
→ Integral sobre superfície fechada

- O conceito de fluxo pode facilitar os cálculos se o campo for perpendicular e constante

19.9 - Lei de Gauss

• Relação entre fluxo e carga no interior de uma superfície

Superfície gaussiana



$E \cdot \Delta A_i = E_n \Delta A_i = E \Delta A_i$

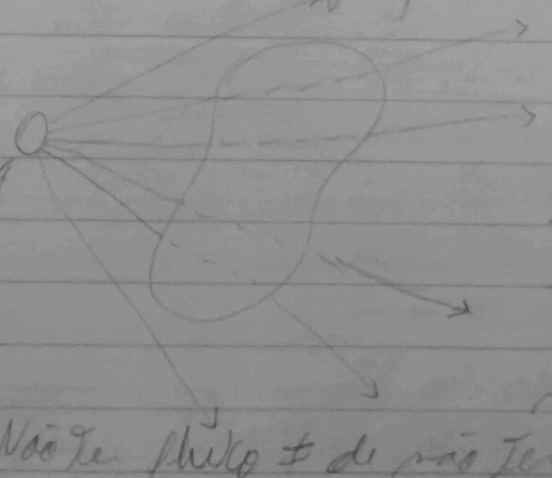
$\Phi_E = \oint E_n dA = \oint E dA = E \oint dA = EA$

$\Phi_E = EA = \left(\frac{k_e q}{r^2}\right)(4\pi r^2) = 4\pi k_e q$

$$\boxed{\Phi_E = \frac{q}{\varepsilon_0}}$$

- O fluxo é proporcional ao nº de linhas do campo
- O nº de linhas é proporcional a carga no interior
- Toda linha de campo que sai da carga tem de atravessar a superfície
- O fluxo resultante é independente da superfície, do seu tamanho ou formato

• Cargas fora da superfície



- Número de linhas que entram é igual ao número que sai, consequentemente é nulo o fluxo elétrico através de uma superfície fechada que não englobe uma carga

- Não ter fluxo ≠ de não ter campo

• No caso de muitas cargas:

$$\boxed{\oint E\, dA = \oint (E_1 + E_2 + E_3) \cdot dA}$$

- Não altera o fluxo total desde que a carga esteja envolvida pela superfície

• Lei de Gauss: (forma geral)

$$\boxed{\Phi_E = \oint E\, dA = \frac{q_{in}}{\varepsilon_0}}$$

10 / 1

- Fluxo resultante é igual à carga líquida dentro da superfície dividido por ε_0
- É útil para calcular o campo onde o grau de simetria é elevado como em simetria esférica, cilíndrica ou plana.

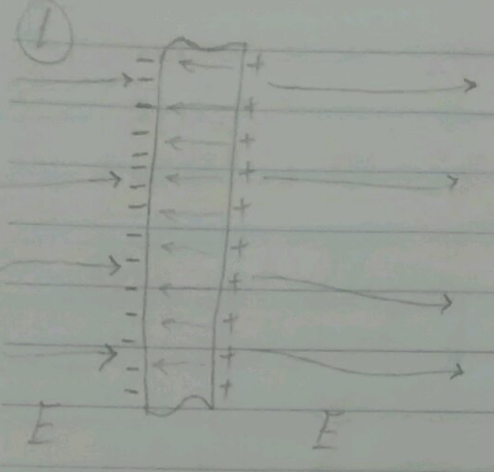
19.10 - Aplicação da lei de gauss a distribuições simétricas de cargas

. Escolher uma superfície gaussiana na qual a integral possa ser simplificada e E possa ser facilmente calculado
- Aproveitar a simetria para remover E da integral
- Determinar uma superfície que satisfaça.
  1. Campo elétrico seja constante por simetria
  2. E d A (vetor normal dA) são // ($\cos 0° = 1$)
  3. $E dA$ são $\perp$ ($\cos 90° = 0$)
  4. Pode-se afirmar que $E = 0$ em qualquer parte da superfície

Semana - 19.11 - Condutores em equilíbrio eletrostático

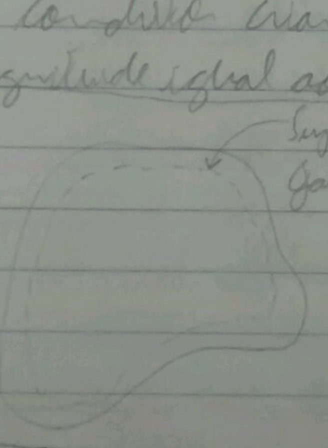
- Equilíbrio eletrostático: ocorre quando não há nenhum movimento de carga dentro de um condutor.
  - Propriedades
    1. Campo nulo dentro do condutor
    2. Se tiver carga ele fica na superfície
    3. Campo é perpendicular a superfície com $|\vec{E}| = \sigma/\varepsilon_0$
    4. σ é máximo onde raio é mínimo

1.



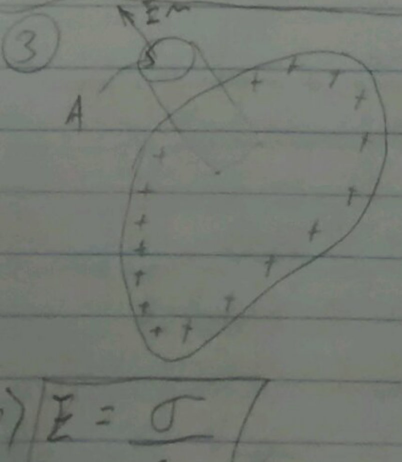
Supondo-se equilíbrio eletrostático, o campo dentro do condutor tem de ser nulo, pois caso contrário haveria movimento de cargas.
Esse equilíbrio é atingido pq o $\vec{E}$ externo acelera o e^- até a extremidade do condutor criando um $\vec{E}$ interno no sentido oposto e com magnitude igual ao $\vec{E}$ externo, anulando-o no seu interior.

2.



Como o campo elétrico é nulo no interior do condutor, ele é nulo na superfície gaussiana, o que leva a concluir que toda carga só pode residir na superfície externa do condutor.

3.



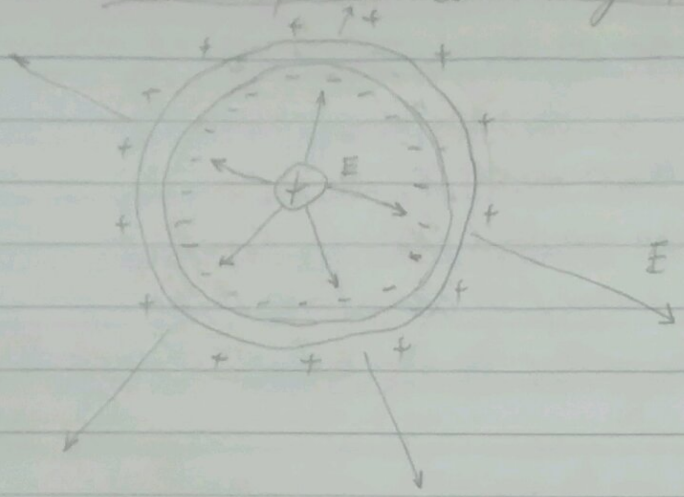
O campo é perpendicular a superfície porque se $\vec{E}$ tivesse uma componente paralela a superfície haveria aceleração das cargas da superfície. E como não há campo na superfície gaussiana dentro do condutor

$$\Phi_E = \oint \vec{E}\, d\vec{A} = EA = \frac{q_{in}}{\varepsilon_0} = \frac{\sigma A}{\varepsilon_0}$$

$$\Rightarrow \boxed{E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}}$$

12 / /

• Casca esférica com carga no centro.



(4) Aqui é o conteúdo de um preditor/bola

Serway 20 - Resumo

Serway 20.1 - Diferença de potencial e Potencial Elétrico

- Quando uma carga de prova se move em resposta a tal em um campo E o trabalho realizado por um deslocamento ds é:

$$\boxed{W = F_e \cdot ds = q_0 E \cdot ds}$$ (semelhante com campo em um campo G)

- Relação energia potencial e trabalho:

$$\boxed{dU = -dW = -q_0 E \cdot ds}$$

- Variação de energia potencial para deslocamento finito de q_0 entre A e B:

$$\boxed{\Delta U = U_B - U_A = -q_0 \int_A^B E \cdot ds}$$ (Propriedade campo-carga) (integral de linha) (q_0 = conservativo) (não depende da trajetória entre os extremos)

- Potencial Elétrico:

$$\boxed{V \equiv \frac{U}{q_0}}$$ (Propriedade do campo) (Assim como ΔV, é escalar)

- Diferença de potencial:

$$\boxed{\Delta V = V_B - V_A = \frac{\Delta U}{q_0} = -\int_A^B E \cdot ds}$$

+ partícula de prova

- $\Delta V \neq \Delta U$
- $\Delta U = \Delta V \cdot q_0$

- Potencial elétrico em um ponto arbitrário:
  - Trabalho necessário para trazer uma partícula de prova do infinito até o ponto, dividido pela carga da partícula

$$\boxed{V_P = -\int_\infty^P E \cdot ds}$$

  - Tomamos $\boxed{V_A = 0 \text{ no infinito}}$
  - E é o campo elétrico das cargas fonte.

- Unidade SI: $\boxed{1\,V \equiv 1\,J/C}$ (Volt (V))

- Relação entre campo E e potencial elétrico:
  - $1\,V = 1\,N \cdot m/C \Rightarrow \boxed{1\,V/m = 1\,N/C}$
  - E pode ser interpretado como taxa de variação de V no espaço

14/1

- Elétron-Volt (eV):

$$\boxed{1\,eV = (1e)(1V) = (1{,}60 \cdot 10^{-19}\,C)(1\,J/C) = 1{,}60 \cdot 10^{-19}\,J}$$

- 1 eV é a energia cinética ganha por uma partícula com carga e acelerada por um ΔV de 1 V
- eV é uma unidade de energia.

Serway 20.2 - Diferença de potencial em um campo elétrico Uniforme

. ΔV entre dois pontos em um E uniforme:

$$\Delta V = V_B - V_A = -\int_A^B \vec{E}\cdot d\vec{s} = -\int_A^B E\cos 0°\, ds$$

$$\Rightarrow -\int_A^B E\, ds = -E\int_A^B ds = -E.d \Rightarrow \boxed{\Delta V = -Ed}$$ quando $\cos\theta = 0°$

- Em geral as linhas de campo sempre apontam na direção de diminuição do potencial elétrico.

. Energia potencial em um E uniforme:

$$\boxed{\Delta U = q_0 \Delta V = -q_0 E d}$$

- Quando uma carga positiva se desloca no sentido de E a energia potencial do sistema campo carga diminui (análogo a ΔU gravitacional).

- Se deslocando no sentido de E a carga ganha energia cinética e o sistema campo-carga perde uma qtd igual de energia potencial.

- Se a carga for negativa (vai em sentido oposto) ela se deslocará na direção oposta de E e o resto será análogo.

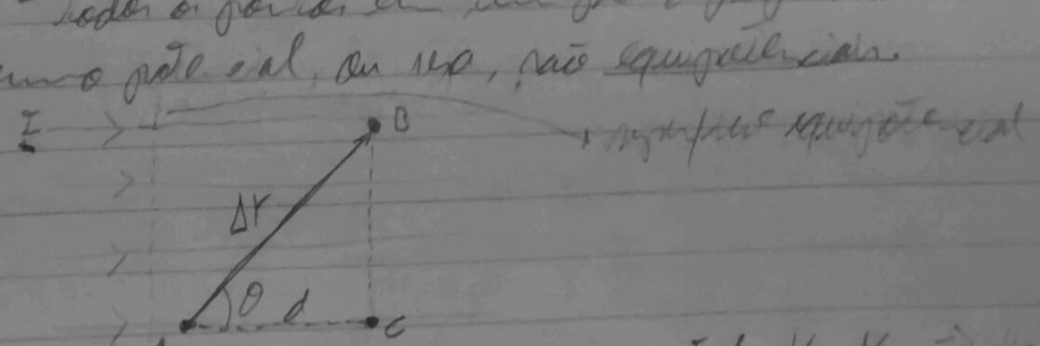
. ΔV e ΔU entre dois pontos quaisquer em um E uniforme

$$\boxed{\Delta V = -\int_A^B \vec{E}\cdot d\vec{s} = -\vec{E}\int_A^B d\vec{s} = -\vec{E}\cdot\Delta\vec{r}}$$ quando $0° < \cos\theta < 90°$

$$\boxed{\Delta U = q_0 \Delta V = -q_0 \vec{E}\cdot\Delta\vec{r}}$$

- $\Delta \vec{r}$ é o vetor deslocamento entre os pontos

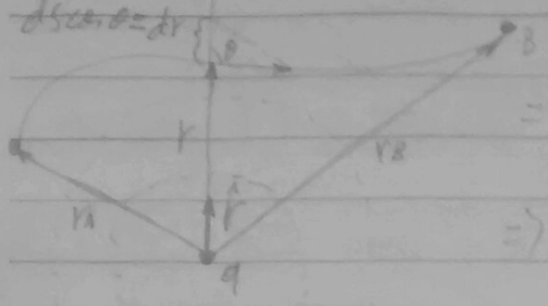
- Todos os pontos em um plano perpendicular a E estão no mesmo potencial, ou seja, são equipotenciais.



- $V_B - V_A = -\vec{E}\cdot\Delta\vec{r} = -E\cdot\Delta r\cdot\cos\theta = -Ed = V_C - V_A \Rightarrow V_C = V_B$

- Nenhum trabalho é necessário para mover uma partícula em uma superfície equipotencial pois $\Delta U = q_0.\Delta V$ e $\cos 90° = 0$

Serway 20.3 - Potencial elétrico e energia potencial elétrica de cargas pontuais



$$V_B - V_A = -\int_A^B \vec{E}\cdot d\vec{s} = -\int_A^B \frac{k_e q}{r^2}\,\hat{r}\cdot d\vec{s}$$

$$\Rightarrow -\int_A^B \frac{k_e q}{r^2}\,\underbrace{ds\cos\theta}_{dr} = -\int_{r_A}^{r_B} \frac{k_e q}{r^2}\,dr$$

$$\Rightarrow -k_e q \int_{r_A}^{r_B} \frac{1}{r^2}\,dr = +\frac{k_e q}{r}\Bigg]_{r_A}^{r_A}$$

$$\Rightarrow \boxed{\Delta V = k_e q \left[\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A}\right]}$$

→ superfície equipotencial

- Campo elétrico não é uniforme ao longo da trajetória
- $\vec{E}\cdot d\vec{s}$ é independente da trajetória pois $\vec{E}$ de uma carga pontual é conservativo

• Para $r_A = \infty$: $\boxed{V = \frac{k_e q}{r}}$

- Potencial devido a uma carga pontual a uma distância r da carga

• Potencial elétrico de duas ou mais cargas

$$\boxed{V = k_e \sum_i \frac{q_i}{r_i}}$$ (soma algébrica)

• Energia potencial de um sistema de duas partículas

$$\boxed{U = q_2 \Delta V = q_2 V_1 = k_e \frac{q_1 q_2}{r_{12}}}$$ $(r_A = \infty)$ → distância das partículas

- Se U é positivo, trabalho deve ser feito para aproximar as cargas, U aumenta
- Se U é negativo, trabalho sai do sistema pq as partículas se atraem e energia potencial do sistema diminui ↳ sistema faz trabalho no ambiente
- Se mais de duas partículas, o U deve ser calculado para cada par e o U total do sistema é a soma algébrica.
- U total do sistema é o W necessário para trazer as cargas uma a uma do infinito até a posição final

• Trabalho: $\boxed{W = U_{Total}}$

→ No caso do potencial elétrico de uma partícula vindo do infinito

Serway - 20.4 - Obtendo o campo E a partir do V

- E e V estão relacionados por:

$$\Delta V = -\int E \cdot ds \Rightarrow \boxed{dV = -E \cdot ds}$$

- Se o E tiver somente a componente E_x então:

$$E \cdot ds = \underbrace{E_x}_{\text{componente x do E}} dx \Rightarrow dV = -E_x\, dx \Rightarrow \boxed{E_x = -\frac{dV}{dx}}$$

- Se a distribuição de carga tem simetria esférica:

$$E \cdot ds = E_r\, dr \Rightarrow dV = -E_r\, dr \Rightarrow \boxed{E_r = -\frac{dV}{dr}}$$

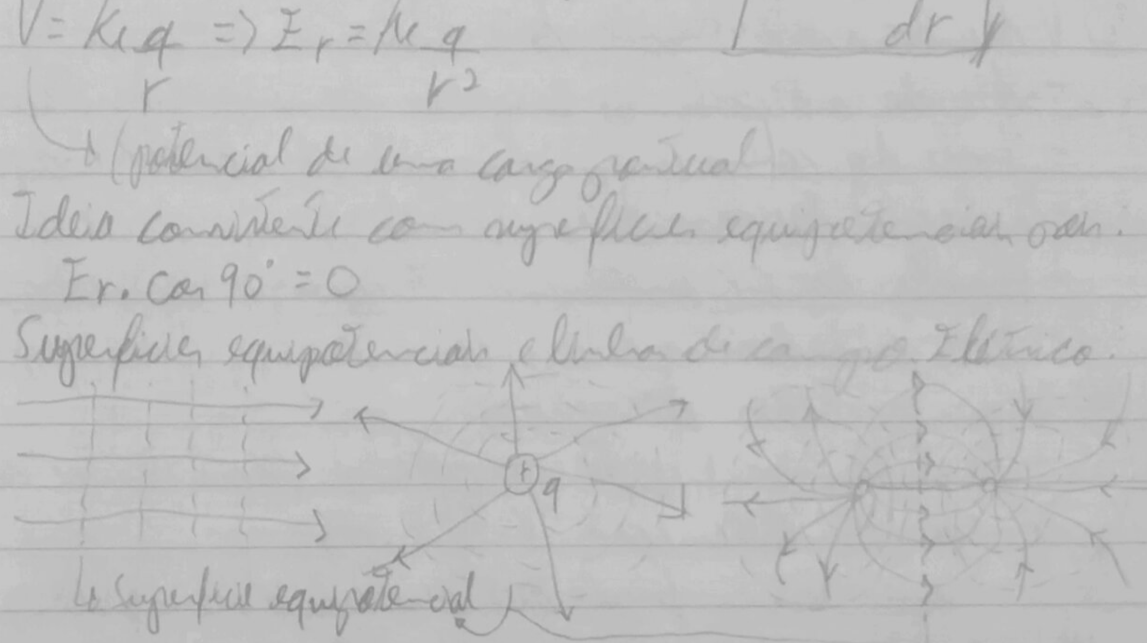
$$V = k_e \frac{q}{r} \Rightarrow E_r = k_e \frac{q}{r^2}$$

↳ (potencial de uma carga pontual)

- Ideia consistente com superfícies equipotenciais pois:

$E_r \cdot \cos 90° = 0$

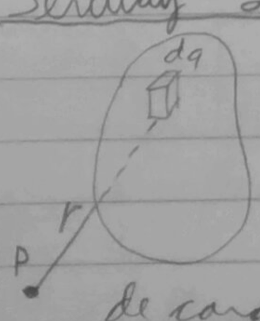
- Superfícies equipotenciais e linhas de campo elétrico:



- V é função de três coordenadas espaciais, então para $V(x,y,z)$:

$$\boxed{E_x = \frac{\partial V}{\partial x} \; ; \; E_y = -\frac{\partial V}{\partial y} \; ; \; E_z = -\frac{\partial V}{\partial z}}$$

Serway - 20.5 - Potencial devido a distribuições contínuas de carga



- Tratando dq como uma carga pontual:

$$\boxed{dV = k_e \frac{dq}{r}}$$

- Integrando para obter a contribuição de todo elemento de carga obtemos:

$$\boxed{V = k_e \int \frac{dq}{r}}$$

- Também podemos obter V utilizando

$$\boxed{\Delta V = -\int_A^B E \cdot ds}$$

- Tomando V = 0 em um ponto conveniente
- Quando o E já é conhecido (por causa de simetria)

18 / /

- Estratégia de solução de problemas de potencial

① V é uma grandeza escalar (não há componentes a considerar)
- ∴ princípio de superposição é uma soma algébrica simples

② Somente variações em V são significativas
- ponto onde $V = 0$ é arbitrário
- Se distribuição de carga estender ao infinito, algum ponto próximo deve ser selecionado como referência

③ V devido a distribuições contínuas:
- divida a distrib. de carga em elementos infinitesimais dq
- Trate dq como uma carga pontual: $dV = k_e \, dq/r$
- Integre dV para obter V total
- Expresse dq e r em termos de uma única variável (se necessário)
- Leve cuidadosamente em conta a geometria do problema

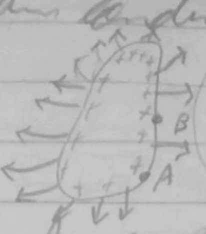
④ V por métodos alternativos:
- Se E for conhecido ou puder ser facilmente calculado comece pela definição: $V = -\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{s}$

⑤ Se tiver uma função que descreva V, como $V(x,y,z)$, utilize: $\boxed{E_x = -\dfrac{dV}{dx}}$

Serway - 20.6 - Potencial elétrico de um condutor carregado

• Todo ponto na superfície de um condutor está no mesmo potencial elétrico, pois:

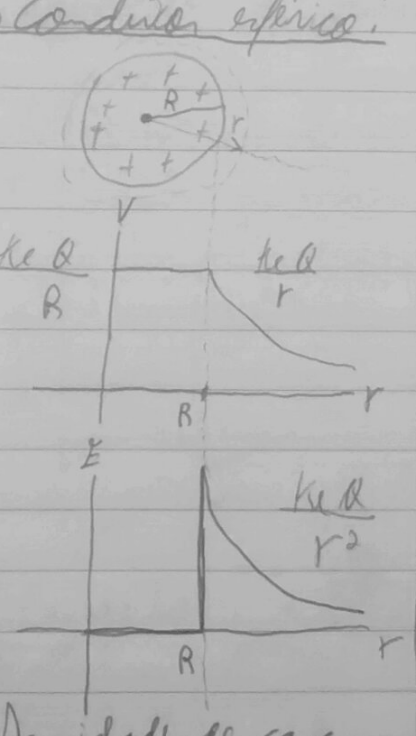
$$\boxed{\Delta V = V_B - V_A = \int_A^B E \cdot ds = 0}$$



E é perpendicular em todos os pontos.

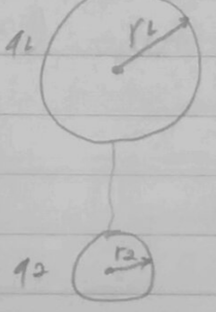
- $E \cdot ds = 0$ porque E é perpendicular em todos os pontos na superfície de um condutor
- V é constante em todos os pontos da superfície
- A superfície condutora é equipotencial
- V é constante em seu interior pois E no seu interior é zero
- $V_{int} = V_{externo}$
- $W = 0$ para mover uma carga do interior para superfície pois $\Delta V = 0$

• Condutor esférico:



- Densidade de carga superficial é uniforme

• Condutor não-esférico



- Duas esferas condutoras ligadas por um fio condutor: Um condutor não esférico
- Todos os pontos devem ter o mesmo V

$$k_e \frac{q_1}{r_1} = k_e \frac{q_2}{r_2} \Rightarrow \frac{q_1}{q_2} = \frac{r_1}{r_2}$$

$r_1/r_2 > 1$ pois $r_1 > r_2 \Rightarrow q_1/q_2 > 1$

- Comparando densidades superficiais

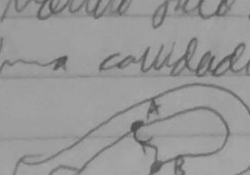
$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{\left(\frac{q_2}{4\pi r_2^2}\right)}{\left(\frac{q_1}{4\pi r_1^2}\right)} = \frac{q_2}{q_1} \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2} = \frac{r_2}{r_1} \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2} = \frac{r_1}{r_2}$$

$r_1/r_2 > 1 \Rightarrow \sigma_2/\sigma_1 > 1$, ou seja, densidade de carga é maior na esfera pequena

$q_1/q_2 > 1 \Rightarrow$ carga maior na esfera grande

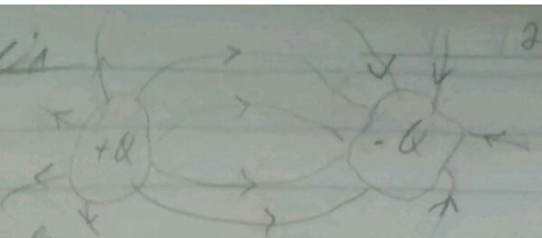
• Generalizando: E é grande em superfícies convexas que tenham raio pequeno. E é pequeno onde r é grande
- Motivo pelo qual para-raios são pontiagudos

• Uma cavidade dentro de um condutor em equilíbrio



- Como $\Delta V = V_B - V_A = -\int_A^B E \cdot ds = 0$, E tem de ser $\emptyset$ dentro da cavidade (gaiola de Faraday)

Serway - 20.7 - Capacitância



• Definição: $\boxed{C = \frac{Q}{|\Delta V|}}$

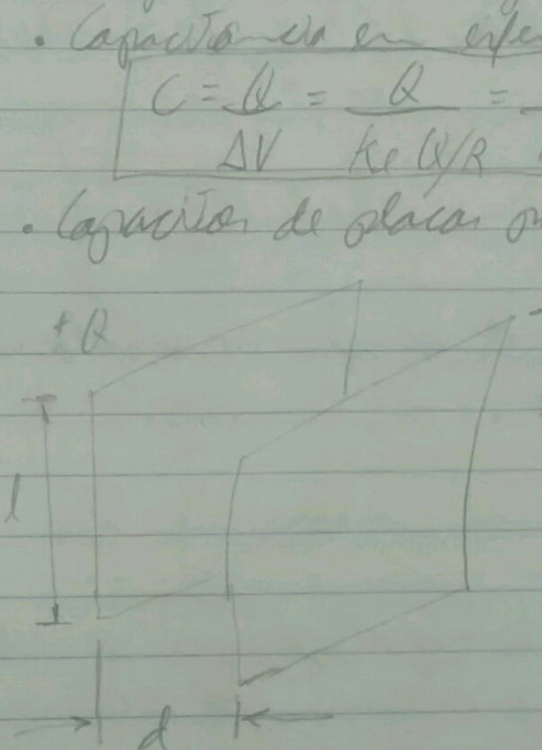
- Q é o módulo da carga em qualquer um dos dois condutores
- ΔV entre os dois condutores
- Capacitância é sempre positiva
- Unidade: Farad (F) (C/V)
- Depende do arranjo geométrico dos condutores

- Capacitância é a qtd de carga que um capacitor armazena para uma d.d.p. ΔV

• Capacitância em esfera concêntrica em casca esférica:

$$\boxed{C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{Q}{k_e Q/R} = \frac{R}{k_e} = 4\pi\varepsilon_0 R}$$

• Capacitor de placas paralelas:



- Se $d \ll l$, E é uniforme entre as placas e zero fora:

$$\boxed{E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} = \frac{Q}{\varepsilon_0 A}}$$

$$\boxed{\Delta V = Ed = \frac{Qd}{\varepsilon_0 A}}$$

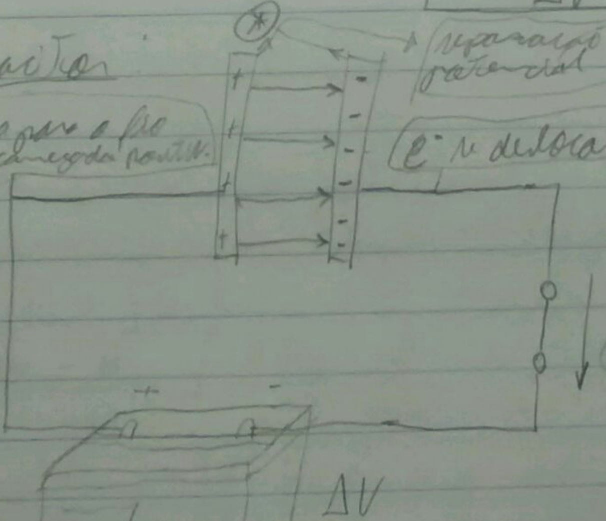
$$\boxed{C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{Q}{Qd/\varepsilon_0 A} = \frac{\varepsilon_0 A}{d}}$$

• Capacitor:

(*) separação de carga representa energia potencial

e^- vão da placa para o fio deixando a placa carregada positiv.

e^- se deslocam do fio para placa

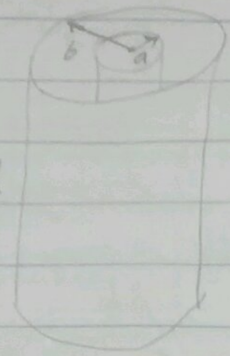


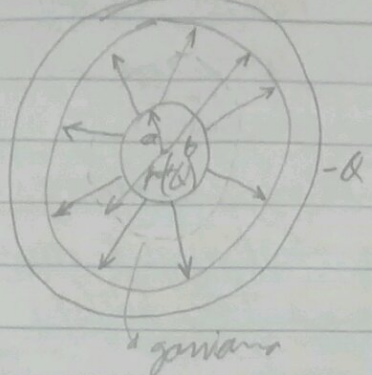
E campo elétrico no fio

(*) quando o capacitor armazena tanto energia quanto carga.

Energia química na bateria é reduzida

• Capacitor cilíndrico





- Se $l >> a$ e b, E é perpendicular com o eixo do cilindro:

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

$$E = \frac{2k_e \lambda}{r} \quad (*)$$

$$\boxed{V_b - V_a = -\int_a^b E_r \, dr = -2k_e \lambda \int_a^b \frac{1}{r} \, dr = -2k_e \lambda \ln\left(\frac{b}{a}\right)}$$

$$\boxed{C = \frac{Q}{|\Delta V|} = \frac{Q}{\frac{2k_e Q}{l} \ln\left(\frac{b}{a}\right)} = \frac{l}{2k_e \ln\left(\frac{b}{a}\right)}}$$

• Capacitância por unidade de comprimento (Cabo coaxial)

$$\boxed{\frac{C}{l} = \frac{1}{2k_e \ln\left(\frac{b}{a}\right)}}$$

(*) Esse resultado aplica-se aqui porque o cilindro exterior não contribui para o campo dentro dele

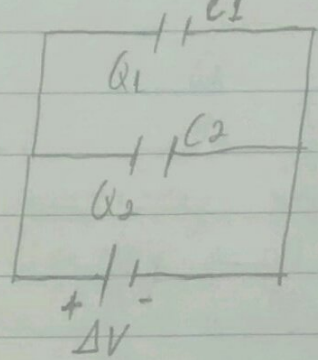
Serway - 20.8 - Combinação de capacitores

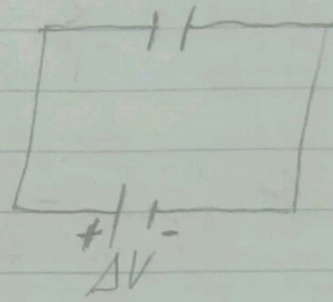
• Representação: diagrama de circuitos utilizando os símbolos:

- Capacitor:
- Bateria: $-$ $+$
- Chave: (aberta) (fechada)

• Combinação em paralelo

$\Delta V_1 = \Delta V_2 = \Delta V$ $\qquad$ $C_{eq} = C_1 + C_2$



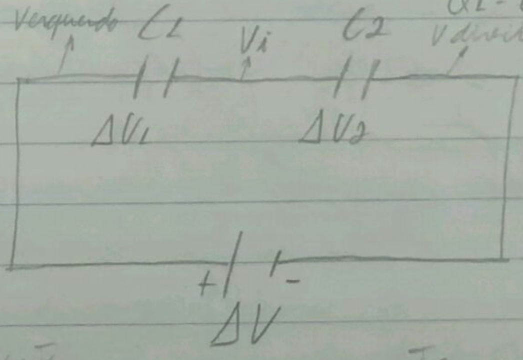


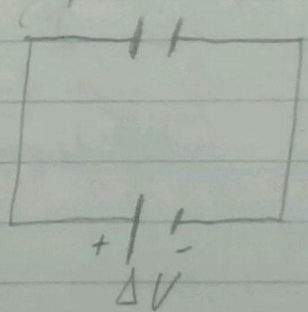
- $Q = Q_1 + Q_2$ e $Q = C_{eq}\Delta V \Rightarrow C_{eq}\Delta V = C_1\Delta V + C_2\Delta V$

$\Rightarrow C_{eq} = C_1 + C_2 \Rightarrow \boxed{C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots}$ $\quad$ $C_{eq} > C_1$ ou $C_2 \dots$

• Combinação em série:

$Q_1 = Q_2 = Q$ $\qquad$ $\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$





- V_i tem o mesmo potencial
- $\Delta V = V_{esquerda} - V_{direita} \Rightarrow \Delta V = (V_{esquerda} - V_i) + (V_{direita} - V_i)$

$\Rightarrow \boxed{\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2}$

- $\Delta V_1 = \frac{Q}{C_1}$; $\Delta V_2 = \frac{Q}{C_2}$ e $\Delta V = \frac{Q}{C_{eq}} \Rightarrow \frac{Q}{C_{eq}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$

$\Rightarrow \frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \Rightarrow \boxed{\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \dots}$ $\quad$ ($C_{eq} < C_1$ ou $C_2 \dots$

Serway 20.9 - Energia Acumulada em um capacitor carregado

- Outra forma de interpretar: imagine um ag. externo que captura cargas infinitesimais dq e transfere de uma placa para outra (sistema não isolado)
  - Aplicando uma força para deslocá-la através de um campo:

$$dW = \Delta V \, dq = \frac{q}{C} \, dq$$

$$\boxed{W = \int_0^Q \frac{q}{C} \, dq = \frac{Q^2}{2C}}$$

- Com $Q = C\Delta V$:

$$\boxed{U = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2} Q \Delta V = \frac{1}{2} C (\Delta V)^2}$$

- A energia do cap. modelado como estando armazenado no E

$\Delta V = E.d$ e $C = \varepsilon_0 A/d$

$$\boxed{U = \frac{1}{2}\left(\frac{\varepsilon_0 A}{d}\right)(Ed)^2 = \frac{1}{2}(\varepsilon_0 A d) E^2}$$

- Energia por unidade de volume ($V = A.d$)

$$\boxed{u = \frac{U}{A.d}} \Rightarrow \boxed{u = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2}$$ (densidade de carga)

- Válida para qualquer capacitor

Serway - 20.10 - Capacitores com dielétricos

- Dielétrico: material não condutor
  - Quando inserido completamente no espaço do capacitor, a capacitância aumenta por um fator de $\boxed{K}$
  - K: constante dielétrica (adimensional)
- Voltímetro ideal: carga não flui através do voltímetro e não altera a carga no capacitor
- ΔV com dielétrico no capacitor (desconectado!!)

$$\boxed{\Delta V = \frac{\Delta V_0}{K}}$$

(se conectado $\Delta V = \Delta V_{bateria}$)
($\Delta V < \Delta V_0 \Rightarrow K > 1$)

- C com cap. (desconectado!!)

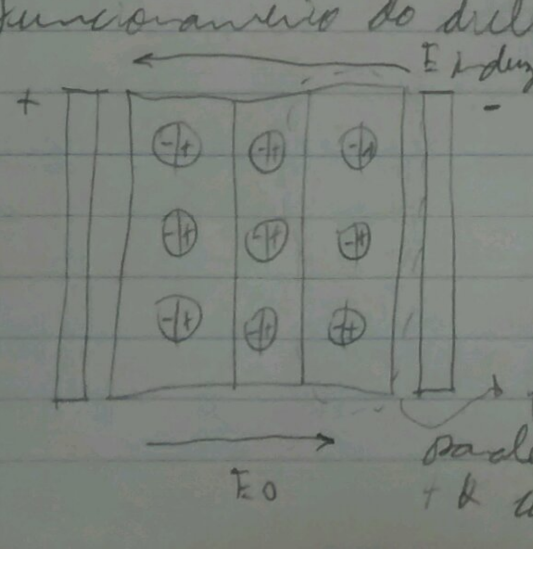
$$\boxed{C = \frac{Q_0}{\Delta V} = \frac{Q_0}{\Delta V_0 / K} = K\frac{Q_0}{\Delta V_0}}$$

(Q_0 não muda no cap desconectado)

- Cap. de placas paralelas:

$$\boxed{C = K\frac{\varepsilon_0 A}{d}}$$

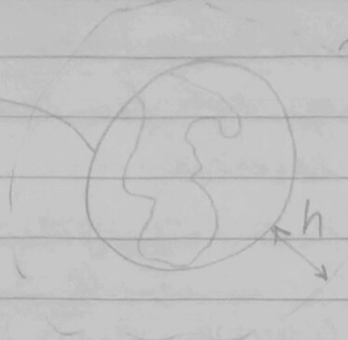
- Rigidez dielétrica (campo elétrico máximo) (V/m)
  - Limita o d mínimo em C
  - Se E exceder a rigidez ocorre descarga elétrica
- Dielétrico fornece:
  - Aumento da C
  - Aumento do $\Delta V_{máx}$
  - Sustentação mecânica
- Funcionamento do dielétrico



→ funcionam como placas paralelas adicionais e armazenam + Q com ΔV menor, assim [illegible]

Serway 20.11 - Atm como um capacitor

. Cargas positivas na atm e cargas neg. na superfície podem ser modeladas como um capacitor



. Pode ser modelada como carga pontual

$$\Delta V = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_{superfície}} - \frac{1}{r_{placa\ superior}}\right)$$

$$= \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{R_T} - \frac{1}{R_T+h}\right) = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{h}{R_T(R_T+h)}\right)$$

- R_T é o raio terrestre
- $h = 5$ km

$$C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{Q}{\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{h}{R_T(R_T+h)}\right]} = \frac{4\pi\varepsilon_0 R_T(R_T+h)}{h}$$

- C é $\approx 0{,}9$ F