

Notas de aula e 5ª Série de Exercícios

ELETRICIDADE E MAGNETISMO – Parte II

3. O CAMPO ELÉTRICO

(I) O conceito de campo (em inglês, *field*) é um dos mais úteis já inventado na física. Imaginamos que cargas elétricas produzem um campo elétrico no espaço ao redor das mesmas, de modo que uma “carga de prova” colocada nessa região do espaço vai sentir o efeito desse campo. (assim como massas produzem um campo gravitacional ao redor das mesmas, que podem agir sobre outras massas). Matematicamente, um campo é uma função da posição numa certa região do espaço, e os princípios da física nos ensinam como calcular essa função.

(II) Dizemos que existe um campo elétrico \vec{E} em um ponto P do espaço se uma carga de prova q colocada nesse ponto ficar sujeita a uma força elétrica \vec{F} . Se a carga de prova for suficientemente pequena, ela não perturba as cargas que produzem o campo, e nesse caso supomos que a força sobre a carga de prova q é proporcional ao valor de q. O campo elétrico que existe no ponto P pode então ser medido pela relação:

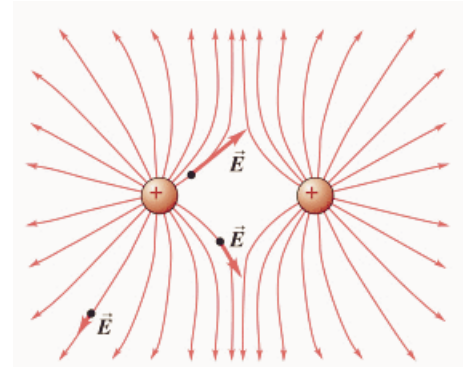
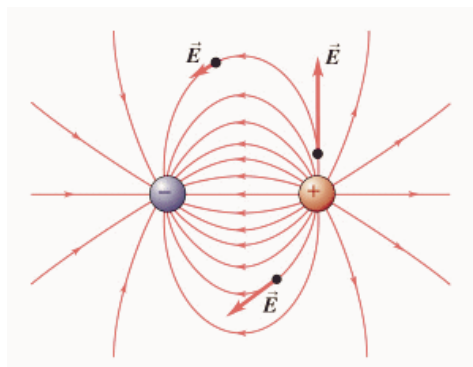
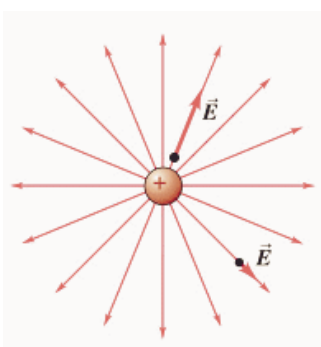
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad (q \rightarrow 0)$$

A unidade de campo elétrico, no SI, é N/C (Newton/Coulomb).

Exercício 5: Calcule o campo elétrico que uma carga de $2\mu\text{C}$ produz a uma distância de 5cm, no vácuo. (dois significativos). Resp.: $7,2 \times 10^6 \text{ N/C}$

(III) As linhas de campo permitem visualizar o campo elétrico em uma região do espaço. Elas são construídas de modo que

- são tangentes ao campo elétrico em cada ponto
- são mais densas nas regiões onde o campo é mais forte
- seguem o sentido do campo, isto é, “saem” das cargas positivas e “entram” nas cargas negativas



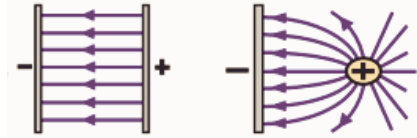
<http://www.physics.miami.edu>
© 2004 Pearson Education, Inc., published as Addison Wesley

Note que a linha de campo que passa por um ponto P é a trajetória seguida por uma carga de prova positiva abandonada nesse ponto.

(IV) Os condutores metálicos possuem elétrons que se movem facilmente dentro dos mesmos, e por isso,

- o campo elétrico no interior de um bom condutor é zero, e
- o campo elétrico na superfície de um bom condutor é perpendicular a essa superfície em cada ponto da mesma.

Observe as linhas de campo nas figuras abaixo, onde cargas estão distribuídas sobre placas metálicas:



<http://www.iop.org>

(V) (A Lei de Gauss) O fluxo do campo elétrico através de uma superfície fechada é igual ao valor da carga elétrica total dentro dessa superfície dividido pela permissividade elétrica do meio:

$$\Phi_E = \frac{Q}{\epsilon}$$

Para calcular o fluxo, dividimos a superfície fechada S em pequenos elementos de área ΔS , e em cada uma dessas áreas calculamos a quantidade $E \cdot \Delta S \cdot \cos\theta$, onde θ é o ângulo que o campo \vec{E} faz com a normal ao elemento de área.

$$\Phi_E = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \sum_S E(\Delta S) \cos\theta = \oint_S \vec{E} \cdot \hat{n} dS$$

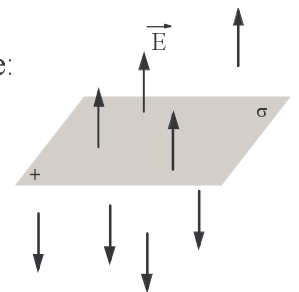
Q = carga total no interior de S

Alguns resultados mais simples são:

1. O campo produzido por um plano infinito carregado homogeneamente:

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon} \quad (\text{uniforme em cada lado do plano})$$

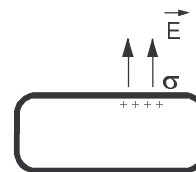
σ = densidade superficial de carga (C/m^2)



2. Campo próximo à superfície de um condutor

No interior do condutor, o campo é zero.

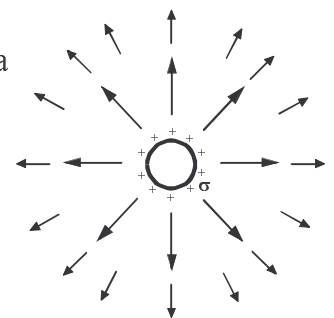
Próximo da superfície, no exterior, o campo é $\frac{\sigma}{\epsilon}$



3. Campo produzido por uma casca esférica homogeneamente carregada

No interior da casca : $\vec{E} = \text{zero}$

Na superfície e no exterior: \vec{E} é calculado como se toda a carga da casca estivesse concentrada em seu centro.



OBS.: A permissividade elétrica do vácuo, em unidades SI, é $8,85 \times 10^{-12} F/m$. A permissividade elétrica do ar seco é praticamente a mesma que a do vácuo.

Exercício 6: (texto adaptado de <http://www.cea.inpe.br/webdge/elat/>) Em condições de tempo bom, o campo elétrico próximo à superfície da Terra é, em média, de 120 N/C sobre os continentes. Esse campo é devido à carga superficial na Terra, e, como essa carga é negativa, o campo elétrico é voltado para baixo. Este campo, em condições normais, é imperceptível em nossa vida. Isto é devido ao fato de que virtualmente todas as coisas, inclusive nosso corpo, são condutoras comparadas ao ar.

- (a) Calcule a densidade superficial média de carga sobre os continentes. Use para permissividade elétrica do ar o mesmo valor que para o vácuo. (dois significativos)
- (b) Lembrando que o raio da Terra é cerca de 6400Km, estime a carga total na superfície da Terra, supondo que toda ela esteja homogeneamente carregada. (dois significativos)

Resp.: $1,1 \times 10^{-9} \text{ C/m}^2$; $5,5 \times 10^5 \text{ C}$

Exercício 7: O campo elétrico de ruptura do ar fica em torno de 10^6 N/C (correspondente a 1 Megavolt por metro, ou 10KV por centímetro).

- (a) Estime a carga máxima que pode ser distribuída sobre uma esfera de metal com 20cm de diâmetro, sem ionizar o ar próximo à sua superfície.
- (b) Repita o cálculo se a esfera tiver apenas 2mm de diâmetro.

Resp: $1,1 \mu\text{C}$; $1,1 \text{ nC}$

4. ENERGIA ELÉTRICA E POTENCIAL ELÉTRICO

(VI) O campo elétrico é conservativo. Isso significa que a energia elétrica que uma carga q ganha ou perde ao se deslocar entre dois pontos A e B não depende da trajetória seguida pela mesma entre A e B.

(VII) Definimos o potencial elétrico V como sendo um escalar (número com sinal), de modo que:

$$V_B - V_A = \frac{\Delta W}{q}$$

, onde ΔW é a energia elétrica que a carga q ganha ao se deslocar de A para B.

A unidade de V , no SI, é o volt (V).

Lembrando que a energia se mede em Joule = Newton \times metro, segue que $1\text{V} = \frac{1\text{J}}{1\text{C}} = \frac{1\text{N} \times \text{m}}{1\text{C}}$, e portanto a unidade de campo elétrico, N/C, equivale a V/m (volts por metro).

É comum, ao calcular o potencial elétrico, supor que $V = 0$ para pontos situados muito distantes das cargas que o produzem.

(VIII) O potencial elétrico produzido por uma carga pontual Q é

$$V = k \frac{Q}{r}$$

, onde r é a distância à carga. No vácuo, o valor de k é $8,99 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$ (aproximadamente o mesmo valor no ar seco)

Exercício 8: (a) Calcule a energia, em Joules, que é necessária para se trazer duas cargas positivas, ambas de $20\mu\text{C}$, a uma distância de 5mm uma da outra.

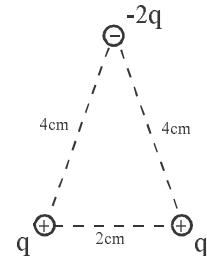
(b) Calcule a energia necessária para se separar duas cargas, uma de $10\mu\text{C}$ e outra de $-20\mu\text{C}$, que estão a uma distância de 1cm uma da outra.

Resp.: 719J; 180J

(IX) Os valores do potencial elétrico produzido por uma distribuição de carga é a soma algébrica dos potenciais produzidos por cada carga em separado.

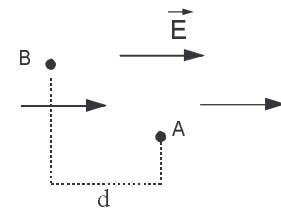
Exercício 9: Calcule a energia necessária, em Joules, para se montar a distribuição de cargas ao lado. ($q = 5\mu\text{C}$) (três significativos)

Resp.: -11,2J

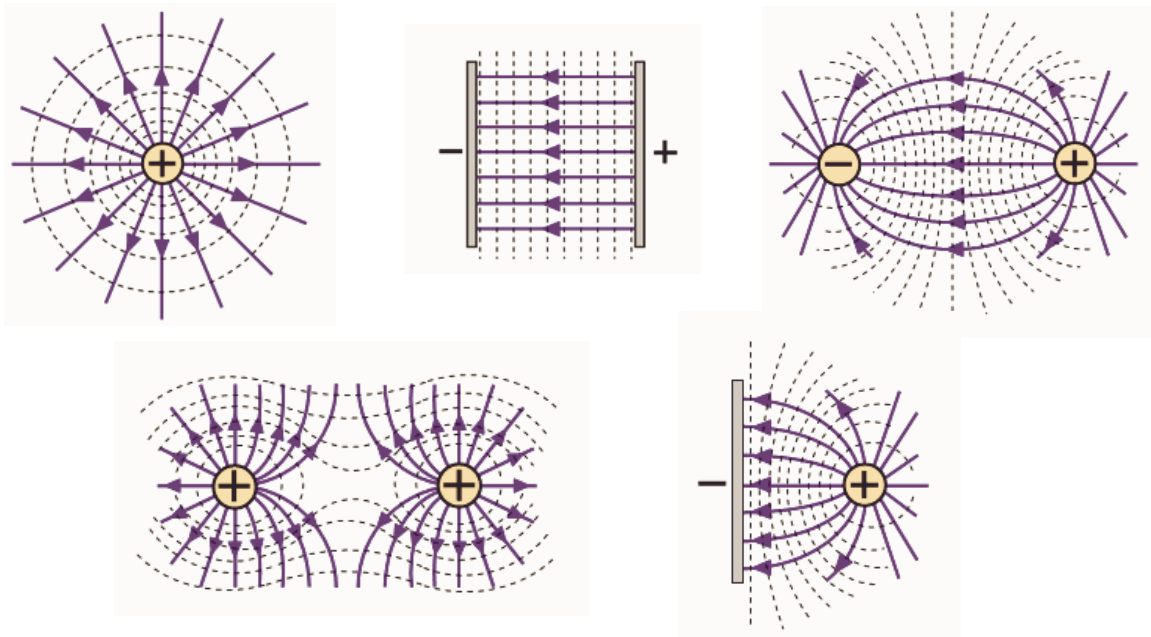


(X) A energia que uma carga elétrica ganha do campo ao se deslocar entre dois pontos A e B pode ser encontrada calculando o trabalho que a força elétrica executa durante esse deslocamento. Se a carga se desloca numa região de campo uniforme, basta multiplicar o valor da força elétrica (que vai ser constante) pelo deslocamento feito na direção contrária do campo.

Por exemplo, se uma carga positiva q se desloca de A para B, e o campo na região é uniforme (constante) $= E$, então a energia ganha pela carga será $\Delta W = qEd$. Note que, se a carga se deslocar numa direção perpendicular ao campo, ela não ganha nem perde energia.



(XI) Os pontos que estão em um mesmo potencial elétrico formam uma equipotencial. As equipotenciais são, em cada ponto, perpendicular à direção do campo elétrico nesse ponto.



<http://www.iop.org>

(XII) A superfície de um bom condutor é uma equipotencial. Se as cargas estão em equilíbrio, todo o corpo do condutor deve estar a um mesmo potencial.

Exercício 10: (a) Calcule a carga total em uma pequena esfera de metal, de diâmetro 1cm, de modo que seu potencial elétrico seja de 1000000V (1MV). (dois significativos)

(b) Considere duas esferas de metal, ligadas por um fio condutor, como na figura. A maior tem diâmetro 1cm e a menor, 1mm. Se a carga total nas esferas é de $5\eta C$, qual a carga que fica em cada esfera? Qual a densidade de carga sobre a superfície de cada uma delas? Qual o valor do campo elétrico próximo à superfície de cada uma delas?



Resp.: (a) $0,56\mu C$ (b) $0,45\eta C$ na maior e $4,55\eta C$ na menor ; $1,45\mu C/m^2$ na maior e $1450\mu C/m^2$ na menor; $1,6 \times 10^5 V/m$ na maior e $1,6 \times 10^8 V/m$ na menor

(XIII) O exercício anterior ilustra o fenômeno conhecido como o “poder das pontas”: em um condutor, as cargas tendem a se acumular nas regiões mais pontiagudas, onde o campo elétrico pode ser bastante intenso.

(XIV) Uma fonte de tensão é um dispositivo capaz de manter uma diferença de potencial (ddp) constante entre seus terminais. Quando uma carga positiva q atravessa uma fonte de tensão, do pólo negativo para o positivo, ela ganha uma energia $\Delta W = qV$, onde V é a ddp da fonte.



Exercício 11: (o capacitor) Considere uma fonte de tensão de 200V conectada a duas placas metálicas finas e paralelas, distantes 1mm uma da outra. Cada placa tem dimensões $5cm \times 4cm$. A placa superior adquire uma carga positiva $+q$, e a inferior $-q$.



- Qual o valor do campo elétrico no espaço entre as placas?
- Qual o valor da carga elétrica que fica em cada placa? (três significativos)
- A capacitância das placas é definida como $C = Q/V$, e é uma medida de quanta carga as placas armazenam para cada volt. No sistema SI, a capacitância é medida em Farads ($1F = 1C/1V$). Qual a capacitância das placas acima? (dois significativos)

Resp.: (a) $200V/mm = 200kV/m$ (b) $3,54\eta C$ (c) $1,8pF$

- Mostre que a capacitância de um capacitor de placas paralelas é $C = \frac{\epsilon S}{d}$, onde S é a área das placas, d a distância entre elas e ϵ a permissividade elétrica do material que fica entre as placas (dielétrico).

REFERENCIAS

- Ramalho, F.R.J.; Ferraro, N.G. e Soares, T.P.A. *Os Fundamentos da Física, Vol.3*, Editora Moderna, 1993.
- <http://www.cea.inpe.br/webdgc/elat/>
- <http://www.physics.miami.edu>
- <http://www.iop.org>
- Purcell, E.M. *Electricity and Magnetism (Berkeley Physics Course, Vol.2)*, McGraw-Hill, 1965.

© 2006-11 Mauricio Fabbri
MCT/INPE: <http://www.las.inpe.br/~fabbri>
Universidade São Francisco – USF
Itatiba/Campinas – <http://www.saofrancisco.edu.br>
São Paulo - Brazil
Permitido uso livre para fins educacionais,
sem ônus, desde que seja citada a fonte.