

# *1 Notas de aula*

## *Prof. Johnny Carvalho*

### **1.1 Tópicos**

- Campo elétrico
  - Conceito de campo elétrico
    - Unidade de intensidade de campo elétrico
  - Campo elétrico de uma carga puntiforme  $Q$  fixa
  - Campo elétrico de várias cargas puntiformes fixas
  - Linhas de força
  - Campo elétrico uniforme
  - Campo de um condutor esférico carregado
  
- Física nuclear
  - Força gravitacional;
  - Força eletromagnética;
  - Força nuclear fraca; e
  - Força nuclear forte.

- Noções de radioatividade

- Introdução
- O que é a radiação?
- Feixe de radiação
- Radiação alfa
- Radiação beta
- Radiação gama
- O poder de penetração
- Efeitos da radiação

- Potencial elétrico

- Potencial elétrico
- Potencial elétrico em campo gerado por partícula pontual
- Diferença de potencial e trabalho em um campo elétrico
- Potencial elétrico em campo uniforme

## 2 *Campo elétrico*

### 2.1 Tópicos

- Campo elétrico
  - Conceito de campo elétrico
    - Unidade de intensidade de campo elétrico
  - Campo elétrico de uma carga puntiforme  $Q$  fixa
  - Campo elétrico de várias cargas puntiformes fixas
  - Linhas de força
  - Campo elétrico uniforme
  - Campo de um condutor esférico carregado

#### – Conceito de campo elétrico

É o efeito produzido por uma carga ou distribuição de cargas que, de alguma forma, modifica o espaço ao seu redor.

Fazer analogia com o campo gravitacional, neste curso a carga de prova<sup>1</sup>, ou melhor a massa de prova  $m$ , colocada num ponto  $P$  da Terra, fica sujeita a uma força atrativa  $\vec{P} = m\vec{g}$ , isto significa que a Terra (de massa  $M$ ) origina, em seu redor, o campo gravitacional que age sobre os corpos de massa  $m$ .

---

<sup>1</sup>Ver livro texto [Gasp05] p.415

Na expressão,

$$\vec{P} = m\vec{g}, \quad \begin{cases} \text{fator escalar } (m) : \text{ depende do corpo} \\ \text{fator vetorial } (\vec{g}) : \text{ exprime a ação da força sobre o corpo no ponto P} \end{cases}$$

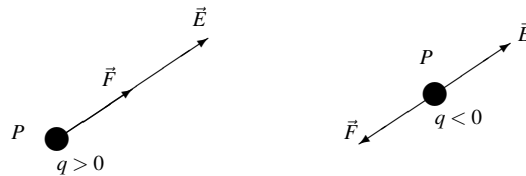
lembrete: o módulo de  $\vec{g}$  é:  $g = G\frac{M}{d^2}$

Fazendo analogia temos,

$$\vec{F} = q\vec{E}, \quad \begin{cases} \text{fator escalar } (q) : \text{ analogo da } m, \text{ porém } q \text{ pode ser } (-) \text{ ou } (+). \\ \text{fator vetorial } (\vec{E}) : \text{ analogo de } \vec{g}, \vec{E} \text{ depende da carga } Q \text{ ou da distribuição de cargas.} \end{cases}$$

A cada ponto  $P$  no espaço associa-se um vetor campo elétrico  $\vec{E}$ , independentemente da existência da carga  $q$  de prova (ver análogo gravitacional).

$$\text{fator escalar } (q), \quad \begin{cases} q > 0, & \vec{F} \text{ e } \vec{E}, \text{ mesmo sentido} \\ q < 0, & \vec{F} \text{ e } \vec{E}, \text{ sentidos opostos} \end{cases}$$



### - Unidade de campo elétrico

$\vec{F}$  e  $\vec{E}$  são grandezas físicas diferentes, embora ambas sejam grandezas vetoriais.

$\vec{F}$ : é força e  $\vec{E}$ : campo elétrico

$$\text{notação, } \begin{cases} \text{vetorial: } \vec{F} = q\vec{E} \\ \text{módulo: } F = |q|E \end{cases}$$

Unidade:  $E = \frac{F}{q}$

unidade de intensidade de campo =  $\frac{\text{unidade de intensidade de força}}{\text{unidade de carga}}$ ,

No SI temos:  $1E = 1 \frac{\text{Newton}}{\text{Coulomb}}$   $1E = 1 \frac{N}{C}$ ,

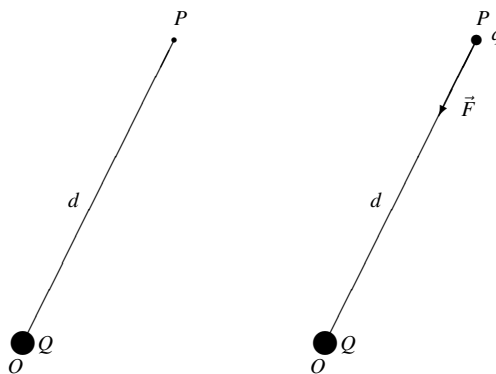
Usualmente no SI é usado o  $V/m$  por razões que ficarão mais claras adiante.

Exercício:

Resolver (em sala) exercício R.15 livro texto [RNT095].

### – Unidade de campo elétrico

Vamos determinar as características do vetor campo elétrico  $\vec{E}$  num ponto  $P$ , devido a uma carga puntiforme  $Q$ , fixa em  $O$  e no vácuo.



(a) intensidade (módulo)

Coloquemos em  $P$  uma carga puntiforme de prova  $q$ . Esta fica sujeita a uma força de intensidade:

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad (2.1)$$

Da lei de Coulomb:  $\vec{F} = K_o \frac{|Q| \cdot |q|}{d^2}$  (2.2)

das equações (2.1) e (2.2)

$$|q|E = K_o \frac{|Q| \cdot |q|}{d^2}$$

$$E = K_o \frac{|Q|}{d^2} \quad (2.3)$$

Nota:

- $Q$  sendo positiva, o sentido de  $\vec{E}$  é sempre o sentido de  $Q$  para  $P$ , qualquer que seja o sinal de  $q$ .
- $Q$  sendo negativa, o sentido de  $\vec{E}$  é sempre o sentido de  $P$  para  $Q$ , qualquer que seja o sinal de  $q$ .

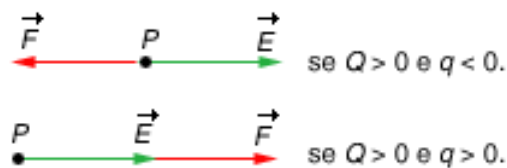
Mudando o sinal de  $q$  mudaremos o sentido da força  $\vec{F}$ , mas não o do vetor campo elétrico  $\vec{E}$ , consequência do fato de  $\vec{E}$  depender de  $q$ .

(b) direção

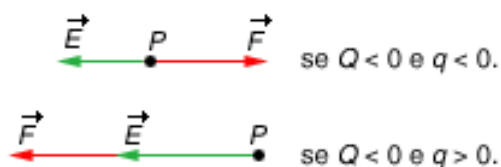
A mesma de  $\vec{F}$ , isto é, a reta  $\overline{OP}$

(c) sentido

1º Caso – A carga  $Q$  que produz o campo é positiva. Neste caso,  $q$  pode ser positiva ou negativa.



2º Caso – A carga  $Q$  que produz o campo é negativa.



O vetor campo elétrico  $\vec{E}$ , produzido em cada ponto por uma carga  $Q > 0$  fixa, é de afastamento.



O vetor campo elétrico  $\vec{E}$ , produzido em cada ponto por uma carga  $Q < 0$  fixa, é de aproximação.

## 2.2 Verificação

1) Mudando o sinal de uma carga de prova  $q$  de positivo para negativo, numa região de campo elétrico, o sentido do vetor campo elétrico  $\vec{E}$  pode ser alterado? E o sentido da força elétrica  $\vec{F}$ ?

– **Resposta:** Mudando o sinal de  $q$  mudaremos o sentido da força  $\vec{F}$ , mas não o do vetor campo elétrico  $\vec{E}$ , consequência do fato de  $\vec{E}$  depender de  $q$ .

2) Resolver, (em casa) o exercício-2, p.421, livro texto [Gasp05].

– **Exercício-1**

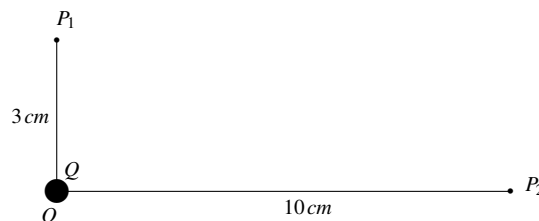
Solução exercício-2, p.421, livro texto [Gasp05].

*Só poderia haver anulamento nos pontos P e Q se os vetores tivessem o mesmo módulo, o que não ocorre porque as cargas têm o mesmo módulo, mas as distâncias dessas cargas a esses pontos são diferentes. Logo, não existe anulamento em nenhum dos pontos marcados.*

**Resposta:** letra e

– **Exercício-2**

Determine a intensidade, direção e sentido do vetor campo elétrico nos pontos  $P_1$  e  $P_2$  indicados na figura abaixo. O campo elétrico é gerado pela carga puntiforme  $Q = 1\mu C$  e o meio é o vácuo.



Para vácuo  $k = 9,0 \times 10^9 N \cdot m^2 / C^2$

Determine, a seguir, a intensidade da força elétrica que atua em  $q = 10^{-7} C$  colocada em  $P_1$ .

– **Solução**

Características do vetor campo elétrico em  $P_1$ .

( — desenhar os vetores no quadro de giz — )

intensidade:  $E_1 = k \frac{1\mu C}{(3,0 \times 10^{-2} m)^2} = 10^7 N/C$



direção: vertical,  $\overline{OP_1}$ .

sentido:  $O \rightarrow P_1$  (de  $O$  para  $P_1$ ), lembre-se  $Q > 0 \implies$  afastamento.

Características do vetor campo elétrico em  $P_2$ .

( — desenhar os vetores no quadro de giz — )

intensidade:  $E_2 = k \frac{1\mu C}{(10,0 \times 10^{-2} m)^2} = 9,0 \times 10^5 N/C$

direção: horizontal,  $\overline{OP_2}$ .

sentido:  $O \rightarrow P_2$  (de  $O$  para  $P_2$ ).

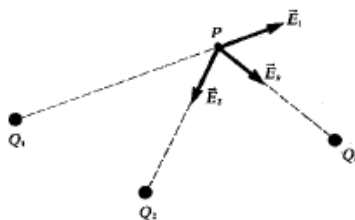
Intensidade da força que atua em  $q$  colocada em  $P_1$  é dada por:

$$F_1 = qE_1 \implies F_1 = (10^{-7} C) \times (10^7 N/C) \implies F_1 = 1 N$$

### CAMPO ELÉTRICO DE VÁRIAS CARGAS PUNTIFORMES FIXAS

Considere diversas cargas puntiformes fixas  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$  e determinemos o vetor campo elétrico gerado por estas cargas num ponto  $P$  qualquer do campo.

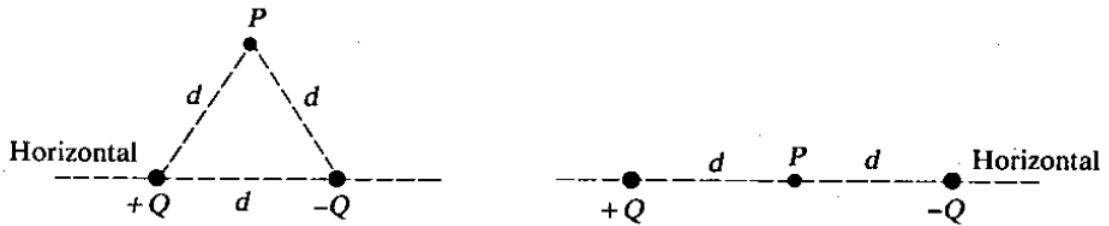
Se  $Q_1$  estivesse sozinha originaria em  $P$  o vetor campo  $\vec{E}_1$ , bem como  $Q_2$ , sozinha originaria em  $P$  o vetor campo  $\vec{E}_2$  e assim por diante, até  $Q_n$ , que sozinha originaria em  $P$  o vetor campo  $\vec{E}_n$ .



O vetor campo elétrico  $\vec{E}$  resultante em  $P$ , devido a várias cargas  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$  é a soma vetorial dos campos  $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \dots, \vec{E}_n$  onde cada vetor parcial é determinado como se a carga respectiva estivesse sozinha:

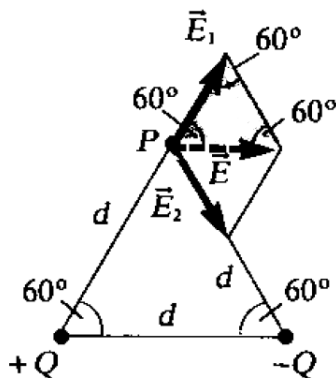
– **Exercício-3**

Determine a intensidade, direção e o sentido do vetor campo elétrico resultante em  $P$  nos casos abaixo. Admita, cada caso,  $Q = 10^{-6}C$  e  $d = 0,3m$ , o meio é o vácuo cuja constante eletrostática é  $k = 9,0 \times 10^9 N \cdot m^2/C^2$



– **Solução**

Parte-1, diagrama dos vetores<sup>2</sup>



intensidade: Os vetores  $\vec{E}_+$  e  $\vec{E}_-$  tem mesma intensidade, pois  $P$  dista igualmente de  $+Q$  e  $-Q$ .

$$E_+ = E_- = 9,0 \times 10^9 \frac{1\mu C}{(0,3m)^2} \quad \therefore \quad E_+ = E_- = 10^5 N/C$$

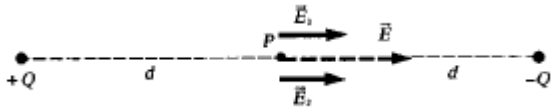
Observe que o triângulo  $\widehat{PE_+E_-}$  é equilátero. Isto significa que:  $|\vec{E}_R| = |\vec{E}_+| = |\vec{E}_-|$

<sup>2</sup>Alunos releiam o cap.1 p.17-25 livro texto [Gasp05]

direção: horizontal.

sentido: esq  $\longrightarrow$  dir (da esquerda para direita).

Parte-2, diagrama dos vetores,



$+Q \implies \vec{E}_1$  em  $P$ , afastamento

$-Q \implies \vec{E}_2$  em  $P$ , aproximando

intensidade:  $|\vec{E}_R| = |\vec{E}_+| = |\vec{E}_-|$

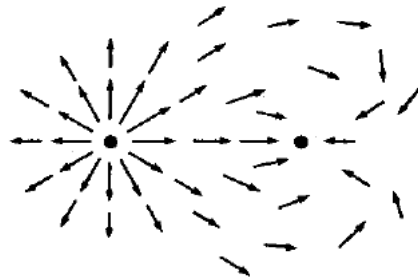
direção: horizontal.

sentido: esq  $\longrightarrow$  dir (da esquerda para direita).

### LINHAS DE FORÇA

A cada ponto de um campo elétrico associa-se um vetor campo elétrico  $\vec{E}$ .

A representação gráfica de um campo elétrico é feito desenhando-se um número conveniente de vetores  $\vec{E}$ .



Outra maneira gráfica de se representar um campo elétrico consiste em utilizar as

linhas de forças.

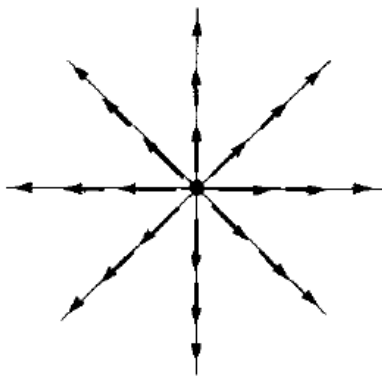
### CONCEITO<sup>3</sup>

Linhas de força são linhas tangentes ao vetor campo elétrico em cada um dos seus pontos. As linhas de força são orientados no sentido do vetor campo elétrico.

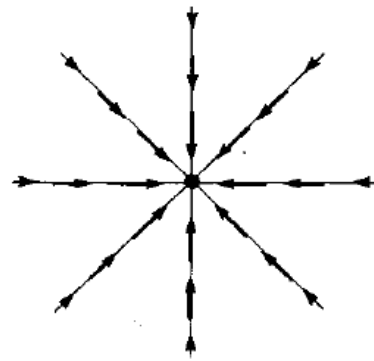


O desenho das linhas de força numa certa região nos dá idéia de como variam, aproximadamente, a direção e sentido do vetor  $\vec{E}$  na região considerada.

As linhas de forças são convencionadas da seguinte maneira:



nascem em  $Q > 0$

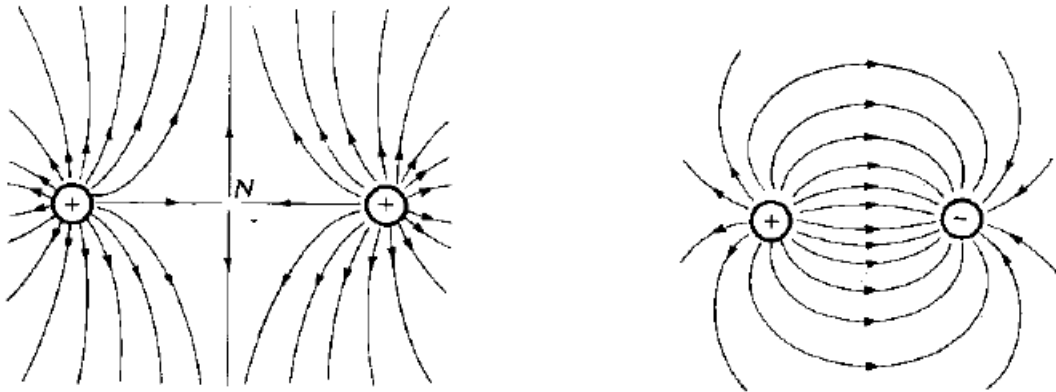


e

morrem em  $Q < 0$

<sup>3</sup>Alunos ver p.418-419 livro texto [Gasp05]

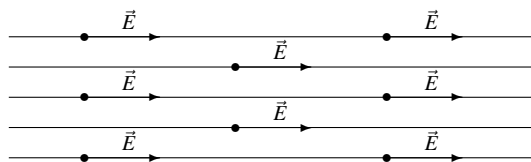
Observe que no exemplo abaixo o vetor campo elétrico é nulo em  $N$ .



### - CAMPO ELÉTRICO UNIFORME

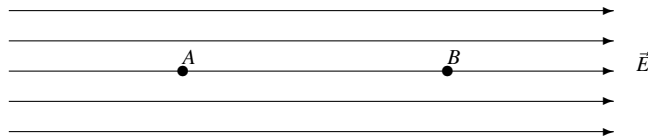
É o campo elétrico onde o valor de  $E$  é o mesmo em todos os pontos. Assim, em cada ponto do campo, o vetor  $\vec{E}$  tem a mesma intensidade, a mesma direção e o mesmo sentido.

As linhas de força de um campo elétrico uniforme são retas paralelas igualmente espaçadas e todos com o mesmo sentido.



– **Exercício-4**

Uma carga elétrica puntiforme  $q = 1\mu C$  e de massa  $m = 10^{-6} kg$ , é abandonada, em repouso, num ponto  $A$  de um campo elétrico uniforme de intensidade  $E = 10^5 N/C$ , conforme a figura abaixo,



Determine:

- (a) a intensidade (módulo) da força elétrica que atua em  $q$ ;
- (b) a aceleração do movimento de  $q$ ;
- (c) a velocidade que  $q$  possui ao passar por,  $B$ , situado a  $0,2 m$  de  $A$ .

Despreze as ações gravitacionais.

**Solução**

Item (a): sendo  $q > 0$  resulta que  $\vec{F}$  tem mesmo sentido que  $\vec{E}$ . A intensidade (módulo) da força elétrica em  $q$  é dada por:

$$F = |q|E \quad \text{sendo,} \begin{cases} q = 1\mu C = 10^{-6} C \\ E = 10^5 N/C \end{cases}$$

Item (b): da equação da dinâmica,

$$F = ma \quad \text{onde,} \begin{cases} F = 0,1 N \\ m = 10^{-6} kg \end{cases}$$

dos itens (a) e (b) temos,

$$0,1 = 10^{-6} \longrightarrow a = \frac{0,1}{10^{-6}} = 10^{-1-(-6)} \longrightarrow a = 10^5 m/s^2$$

Item (c): note que sendo o campo uniforme ( $\vec{E}$  constante), resulta que  $\vec{F}$  é constante.

Portanto, a partícula abandonada em repouso executa MRUV, e neste caso, acelerado. Se a partícula fosse lançada na direção do campo mas em sentido contrário o movimento inicial seria MRUV retardado.

Aplicando a equação de torrecelli:

$$V_B^2 = V_A^2 + 2ad$$

$$V_B^2 = 0^2 + 2 \times (10^5) \times (0,2)$$

$$V_B = 200 \text{ m/s}$$

#### – CAMPO DE UM CONDUTOR ESFÉRICO CARREGADO<sup>4</sup>

Um condutor, eletrizado ou não, encontra-se em equilíbrio eletrostático quando nele não ocorre movimento ordenado de cargas elétricas em relação a um referencial fixo no condutor [RNT095].

Para pontos no exterior do condutor, o vetor campo elétrico pode ser determinado admitindo, por simetria, que toda carga contida no condutor esteja concentrada no centro da esfera. Assim, pode-se afirmar que o módulo do vetor campo elétrico gerado por um condutor esférico de raio  $r$ , carregado com carga elétrica  $Q$  é:

- $E = 0$ , para pontos localizados à distância  $d$  do centro do condutor, tal que  $d < r$  (pontos internos); e

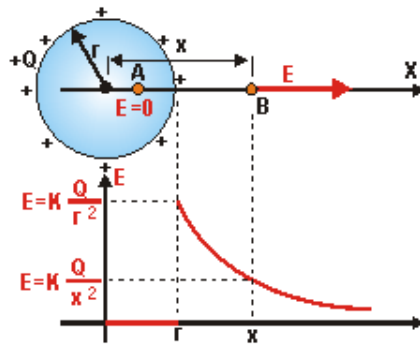
- $E = k \frac{Q}{d^2}$ , para pontos localizados à distância  $d$  do centro do condutor, tal que  $d > r$  (pontos externos).

Nota:

- Essas conclusões são válidas para condutor maciço ou oco;
- O campo elétrico resultante nos pontos internos do contudor é nulo; e
- O potencial elétrico em todos os pontos internos e superficiais do condutor é constante.

---

<sup>4</sup>Alunos vejam p.419-420 do livro texto [Gasp05].



### Exercício

1) - Um condutor esférico de centro  $O$  e raio  $r = 12$  cm contendo carga elétrica positiva  $Q = 4,0 \times 10^{-6}$  C.

a) Determine o vetor campo elétrico gerado por esse condutor no ponto A, localizado a 6,0 cm de  $O$ , e no ponto B, localizado a 20 cm de  $O$ .

b) Construa o gráfico do módulo de  $\vec{E}$  em função da distância  $d$  ao centro  $O$  do condutor, considerado origem.

### Solução

item (a):

ponto A:  $d_A < r \rightarrow E_A = 0$  (ponto interno)

ponto B:  $d_B > r \rightarrow E_B \neq 0$  (ponto externo)

temos:

$$E_B = k \frac{Q}{d_B^2} \rightarrow E_B = 9,0 \times 10^9 \cdot \frac{4,0 \times 10^{-6}}{(2,0 \times 10^{-1})^2} \rightarrow E_B = 9,0 \times 10^9 \text{ N/C.}$$

item (b): Para construir o gráfico, escrevemos a função correspondente para o módulo do  $\vec{E}$ :

$$E = k \frac{Q}{d^2} \rightarrow E = 9,0 \times 10^9 \cdot \frac{4,0 \times 10^{-6}}{d^2}$$



$E(10^5 N/m)$	0	25	11	6,3	4,0	2,8
$d(10^{-2} m)$	6,0	12	18	24	30	36

Selecionando alguns valores na tabela acima, podemos construir o gráfico  $E(10^5 N/m) \times d(10^{-2} m)$ .

Plotar o gráfico para os alunos em sala de aula.

# 3 *Física Nuclear*

## 3.1 Tópicos

- Física nuclear
  - Força gravitacional;
  - Força eletromagnética;
  - Força nuclear fraca; e
  - Força nuclear forte.

### FORÇAS FUNDAMENTAIS DA NATUREZA

#### – FORÇA GRAVITACIONAL

Na teoria clássica a gravitação é governada pela *lei de Newton da Gravitação Universal*. Einstein tornou a lei de Newton um caso particular da *Teoria Geral da Relatividade*, onde generalizou a gravitação universal. Hoje a física busca uma teoria quântica da gravitação porém sem sucesso até agora.

#### – FORÇA ELETROMAGNÉTICA

Descreve os fenômenos elétricos e magnéticos, ou seja, forças eletromagnéticas. Formulada por James Clark Maxwell, essa teoria é consistente com a TRE de Einstein.

#### – FORÇA NUCLEAR FRACA

Explica os processos de decaimento radioativos, tais como o decaimento beta nuclear, decaimento do pión, do múon e de várias partículas “estranhas”. Essa força não era conhecida pela física clássica, sua formulação e estritamente quântica.

### – FORÇA NUCLEAR FORTE

Responsável por fenômenos que ocorrem a curta distância no interior do núcleo atômico. A estabilidade nuclear está associado à força forte, mantendo os prótons que os constituem unidos. Veja que os todos os prótons possuem carga elétrica de mesmo sinal, logo existe intensa repulsão coulombiana. Se a força forte não existisse tal repulsão destruiria o átomo, e a matéria que forma o universo tal como conhecemos hoje não poderia existir (prótons e nêutrons não conseguiriam formar o núcleo) e nós seres humanos, que somos formados dessa matéria não poderíamos existir.

#### ALUMAS CARACTERÍSTICAS

Força	Intensidade	Alcance
Gravitacional	$10^{-40}$	Infinito $\infty$
Eletromagnética	$10^{-2}$	Infinito $\infty$
Nuclear Fraca	$10^{-5}$	$10^{-18} m$
Nuclear Forte	1	$10^{-15} m$

# 4 *Radioatividade*

## 4.1 Tópicos

- Noções de radioatividade
  - Introdução
  - O que é a radiação?
  - Feixe de radiação
  - Radiação alfa
  - Radiação beta
  - Radiação gama
  - O poder de penetração
  - Efeitos da radiação

## 4.2 Explicação

### NOÇÕES DE RADIOATIVIDADE

#### – INTRODUÇÃO

Em 1896, Becquerel ao pesquisar os raios X – descobertos recentemente por Röntgen – viu a possibilidade de um elemento químico emitir radiações naturalmente. Becquerel descobriu que o urânio e seus compostos emitiam uma radiação penetrante, mas interpretou o fenômeno como um tipo de fosforescência invisível. Apenas a partir de 1898 o estudo da radioatividade realizados por Pierre e Marie Curie, começou realmente a se desenvolver, com a formulação do

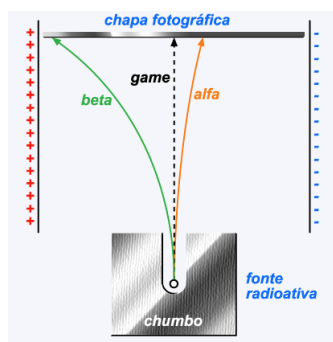
conceito de "radioatividade" e a correção dos erros de Becquerel, e ainda, a descoberta de outros elementos (além do urânio) que emitiam radiações penetrantes.

### – O QUE É RADIAÇÃO?

É a propriedade que os núcleos atômicos instáveis possuem de emitir radiações para obter outros núcleos atômicos mais estáveis. Radioatividade corresponde à desintegração espontânea de núcleos atômicos com a emissão de partícula alfa, partícula beta e raios gama. Quando se ocorre essa transformação, dizemos que o átomo se desintegra. Por exemplo, dizemos que o átomo de urânio se desintegra em um átomo de urânio  $X_1$ , emitindo uma partícula alfa.

### – FEIXE DE RADIAÇÃO

Suponhamos que uma fonte radioativa, elemento rádio ou urânio, por exemplo, sejam colocadas no fundo de um canal aberto em um cilindro de chumbo<sup>1</sup> de uns 10 cm de raio.



A radiação sairá pelo canal, sob a forma de um feixe. Suponhamos que a radiação passe entre duas placas metálicas A e B, uma eletrizada positivamente, outra negativamente. Chocando-se com uma chapa fotográfica, como indica a figura acima, constatamos que o feixe é separado em três partes:

1ª) Uma radiação que é atraída pela placa negativa, e que, portanto, tem carga elétrica positiva. Foi inicialmente chamada raio alfa. Depois se constatou que são partículas, que passaram a ser chamadas *partículas alfa*.

2ª) Uma radiação que é atraída pela placa positiva, e que portanto, tem carga elétrica negativa. Foi chamada raio beta. Quando se constatou que são partículas, passaram a ser chamadas

<sup>1</sup>O chumbo é muito usado como *contêiner* de elementos radioativo devido sua alta absorção destes.

*partículas beta.*

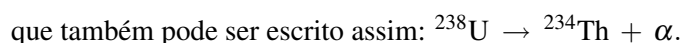
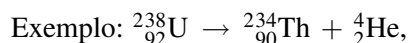
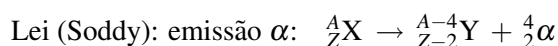
3ª) Uma radiação que não é desviada, o que indica que não contém carga elétrica. É chamada *raio gama.*

A separação dos três feixes também pode ser feita por um campo magnético, em vez de um campo elétrico. Nesse caso, para que os desvios sejam os indicados na figura acima, o campo magnético deve ser perpendicular ao plano da figura, e dirigido para trás do papel.

#### – RADIAÇÃO ALFA ( $\alpha$ )

São fluxos de partículas carregadas positivamente, compostas por 2 nêutrons e 2 prótons (núcleo de hélio). São desviadas por campos elétricos e magnéticos. A velocidade, e portanto, a energia cinética com que são emitidas, dependem da substância radioativa que as emite. Penetram nos corpos muito menos que as partículas beta ( $\beta$ ) e os raios gama ( $\gamma$ ), porque são muito pesadas e tem carga elétrica maior que as outras radiações. Em geral, uma ou duas folhas de papel de comum são suficientes para barrá-las.

Quando um átomo emite uma partícula alfa, seu núcleo fica desfalcado de 2 prótons e 2 neutrons; então, seu número de massa diminui de 4 unidades, a carga elétrica do núcleo diminui de  $+2e$ , e seu número atômico diminui de duas unidades.



Características da partícula alfa:  ${}^4_2\alpha$

- Partícula pesada;
- Velocidade  $\approx 20.000$  km/s;
- Constituída de 2 prótons e 2 nêutrons;
- Massa  $A=4$  e prótons  $Z=2$ ;
- São muito ionizantes<sup>2</sup>;
- Possuem pouco poder de penetração (até uma folha de papel comum); e
- Sofrem leve desvio em campos eletromagnéticos.

---

<sup>2</sup>Por onde passam capturam elétrons, transformando-se em átomos de Hélio.

## – RADIAÇÃO BETA ( $\beta$ )

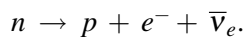
São constituídas por elétrons atirados em alta velocidade para fora de um núcleo instável, em geral próxima da velocidade da luz. Como têm menor massa, menor carga elétrica e maior velocidade que as partículas alfa, são mais penetrantes que estas. As de maior velocidade atravessam 1mm de alumínio. Por terem massa menor que as partículas alfa, sofrem um desvio maior que a partícula alfa, quando colocadas em um campo eletromagnético<sup>3</sup>. Quando um átomo emite uma partícula beta, seu número de massa não diminui<sup>4</sup>, e seu número atômico aumenta de uma unidade.

Lei (Soddy, Fajans e Russel): emissão  $\beta$ :  ${}^A_ZX \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^0_{-1}\beta$

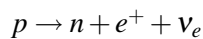
Exemplo:  ${}^{210}_{83}\text{Bi} \rightarrow {}^{210}_{84}\text{Po} + {}^0_{-1}\beta$ ,

que também pode ser escrito assim:  ${}_{83}\text{Bi} \rightarrow {}_{84}\text{Po} + \beta$ ,

No decaimento  $\beta^-$ , um *nêutron* é convertido num *próton*, com emissão de um elétron e de um antineutrino de elétron (a antipartícula do neutrino):



No decaimento  $\beta^+$ , um próton é convertido num neutron, com a emissão de um pósítron, e de um neutrino de elétron:



Características da partícula beta:  ${}^0_{-1}\beta$

- Aproximadamente, 7000 vezes mais leve que a partícula alfa;
- Velocidade 95% da velocidade da luz;
- Massa A=0 e carga Q=-1;
- São pouco ionizantes;
- Possuem razoável poder de penetração (até 1mm de alumínio);
- Sofrem forte desvio em campos eletromagnéticos.

## – RADIAÇÃO GAMA ( $\gamma$ )

---

<sup>3</sup>Ver figura da aula anterior seção “feixe de radiação”.

<sup>4</sup>A massa sofre pouquíssima diminuição e por questões de hermenêutica, no curso de ensino médio vamos falar que a massa não diminui.

A radiação gama ou raios gama<sup>5</sup> não são desviados por campos elétricos nem magnéticos, porque são ondas eletromagnéticas. São muito mais penetrantes que as partículas alfa e beta; podem atravessar vários metros de ar, ou vários centímetros de chumbo. Quando um átomo emite raio gama, não há variação em seu número de massa, nem em seu número atômico, porque não sai dele nenhuma partícula.

Os raios gama são produzidos na passagem de um núcleon de um nível excitado para outro de menor energia e, na desintegração de isótopos radioativos.

#### Características dos raios gama: ${}^0_0\gamma$

- Ondas eletromagnéticas;
- Velocidade da luz;
- São pouco ionizantes;
- Possuem grande poder de penetração (vários cm de chumbo); e
- Sofrem forte desvio em campos eletromagnéticos; e
- É mais perigosa e ofensiva das três. Pode causar danos irreparáveis aos seres humanos.

#### **– PODER DE PENETRAÇÃO**

##### **Radiação alfa: $\alpha$**

Seu poder de penetração é o menor das três emissões.

- Penetração: Baixa;
- Blindagem: Uma folha de papel ou 7 cm de ar; e
- Organismo: Não penetram a pele humana.

##### **Radiação beta: $\beta$**

50 a 100 vezes mais penetrantes que as partículas alfa.

- Penetração: Média;
- Blindagem: 1 cm de alumínio (Al) ou 2 mm de chumbo (Pb); e
- Organismo: Podem penetrar até 2 cm do corpo humano e causar danos sérios.

##### **Radiação gama: $\gamma$**

São mais penetrantes que raios X.

---

<sup>5</sup>Os raios gama são ondas eletromagnéticas de menor comprimento de onda conhecido.



- Penetração: Alta;
- Blindagem:  $\approx 5$  cm de chumbo (Pb); e
- Organismo: Podem atravessar o corpo humano, causando danos irreparáveis.

#### – EFEITOS DA RADIAÇÃO

##### **Efeito elétrico:**

O ar atmosférico e gases são ionizados pelas radiações, tornando-se condutores de eletricidade. O aparelho usado para detectar a presença de radiação e medir sua intensidade, chamado *contador Geiger*.

##### **Efeitos luminosos:**

As radiações provocam fluorescência em certas substâncias, *como o sulfeto de zinco* - esta propriedade é utilizada na fabricação de ponteiros luminosos de relógios e objetos de decoração.

##### **Efeitos biológicos:**

As radiações podem ser utilizadas com fins benéficos, no tratamento de algumas espécies de câncer, em dosagens apropriadas. Mas em quantidades elevadas, são nocivas aos tecidos vivos, causam grande perda das defesas naturais, queimaduras e hemorragias. Também afetam o DNA, provocando mutações genéticas.

## 4.3 Verificação

1) - Constatou-se que a radiação alfa ( $\alpha$ ) são partículas chamadas *partículas alfa* e estas quando atravessa um campo elétrico são atraídas pela placa negativa, então qual a carga da partícula  $\alpha$ ?

– **Resposta:** *A partícula  $\alpha$  tem carga elétrica positiva.*

2) - A radiação gama ( $\gamma$ ) atravessa uma região de campo elétrico em linha reta, ou seja não, sofre nenhum desvio. Por que isto acontece?

– **Resposta:** *Porque a radiação  $\gamma$  não possui carga elétrica.*

3) - Por que o desvio da partícula  $\alpha$  é menor que o da partícula  $\beta$  quando estas atravessam uma região de campo elétrico?

– **Resposta:** *As partículas  $\alpha$  possuem massa maior do que as partículas  $\beta$ , pois, quanto maior for a massa de uma partícula, maior será a sua inércia e, portanto, mais difícil será alterar sua trajetória.*

4) - Cite três características das radiações  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ .

**Resposta:**

– Radição  $\alpha$ : *leve desvio em campos eletromagnéticos; baixa penetração; e velocidade  $\approx 20.000$  km/s.*

– Radição  $\beta$ : *forte desvio em campos eletromagnéticos; média penetração; e velocidade 95% da velocidade da luz.*

– Radição  $\gamma$ : *não sofre desvio em campos eletromagnéticos; alta penetração; e velocidade igual a da luz.*

5) - Qual das radiações tem menor poder de penetração? E qual pode atravessar o corpo humano causando danos irreparáveis?

**Resposta:**  *$\alpha$ , e  $\gamma$  respectivamente.*

6) - Cite um dos efeitos da radiação e descreva-o.

**Resposta:** Efeitos luminosos: *As radiações provocam fluorescência em certas substâncias, como o sulfeto de zinco - esta propriedade é utilizada na fabricação de ponteiros luminosos de relógios e objetos de decoração.*

# 5 *Potencial elétrico*

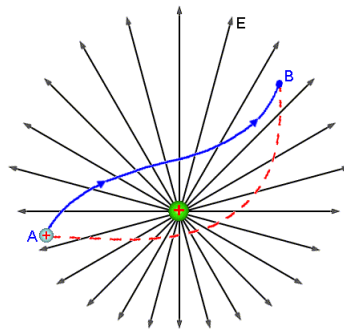
## 5.1 Tópicos

- Potencial elétrico
  - Potencial elétrico
  - Potencial elétrico em campo gerado por partícula pontual
  - Diferença de potencial e trabalho em um campo elétrico
  - Potencial elétrico em campo uniforme

### POTENCIAL ELÉTRICO

#### – POTENCIAL ELÉTRICO

Como o vetor campo elétrico, o potencial elétrico é uma grandeza criada para descrever e analisar situações físicas em campos elétricos.



Uma partícula de prova de carga  $q$  sofre ação de uma força  $\vec{F}$  quando colocada num campo elétrico gerado por um corpo de carga  $Q$ . Consequentemente um deslocamento  $\vec{d}$ , isso significa

que o campo elétrico do corpo  $Q$  pode fazer com que essa partícula realize trabalho, ou seja, ele fornece energia a partícula.

Como a força exercida sobre a partícula e seu deslocamento dependem da sua posição no campo elétrico, o trabalho que ela realiza e a energia por ela adquirida também dependem dessa posição<sup>1</sup>. Se essa energia depende da posição da partícula de carga  $q$  no campo elétrico, ela é uma *energia potencial elétrica*  $E_{pe}$ .

Para cada ponto  $P$  de um campo elétrico a força que atua sobre a partícula é diretamente proporcional à carga  $q$  da partícula ( $\vec{F} = q\vec{E}$ ). Logo, o trabalho realizado sobre a partícula é, por consequência, a energia potencial elétrica dessa partícula também são diretamente proporcionais a essa carga. Nesse caso, a razão  $\frac{E_{pe}}{q}$  é constante [Gasp05].

Admitindo que a carga  $q$  positiva (partícula de prova), por definição essa razão é o *potencial elétrico* desse ponto:

$$V = \frac{E_{pe}}{q} \quad (5.1)$$

A unidade do potencial elétrico no SI é J/C, que recebeu o nome de volt<sup>2</sup> V.

### Propriedades do Potencial Elétrico

- Em todo movimento espontâneo de carga elétrica, na presença de campo elétrico, a energia potencial elétrica da mesma diminui;
- Cargas elétricas **positivas**, abandonadas em repouso na presença de campo elétrico e sujeitas apenas à ação da força elétrica, deslocam espontaneamente para pontos de **menor potencial elétrico**; e
- Cargas elétricas **negativas**, abandonadas em repouso na presença de campo elétrico e sujeitas apenas à ação da força elétrica, deslocam espontaneamente para pontos de **maior potencial elétrico**

---

<sup>1</sup>CUIDADO! não confundir depender da posição com depender da trajetória, pois o trabalho não depender da trajetória.

<sup>2</sup>A letra V é em homenagem ao físico italiano Alessandro Volta (1745-1827).

## – POTENCIAL ELÉTRICO EM CAMPO GERADO POR PARTÍCULA PONTUAL

Para calcular o potencial elétrico num ponto de um campo elétrico é preciso determinar a energia potencial elétrica de uma partícula de carga  $q$  positiva colocada nesse ponto.

Se o campo elétrico é gerado por uma partícula pontual de carga  $Q$ , esse trabalho pode ser obtido pela expressão matemática da energia potencial elétrica do sistema de partículas de cargas  $Q$  e  $q$ :

$$E_{pe} = k \cdot \frac{Qq}{d} \quad (5.2)$$

como  $V = \frac{E_{pe}}{q}$  o potencial  $V$  no ponto  $P$  localizado à distância  $d$  da partícula é:

$$V_P = k \cdot \frac{Q}{d} \quad (5.3)$$

onde  $k$  é a constante eletrostática do meio (para vácuo  $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ ) e  $d$  é a distância da partícula até a carga  $Q$ .

Considere o campo elétrico originado por várias cargas  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ , fixas no vácuo.

O potencial elétrico é uma grandeza escalar, portanto, num ponto  $P$  do campo o potencial elétrico total é soma algébrica dos potenciais em  $P$ , produzidos separadamente pelas cargas  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ .

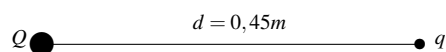
$$V_P = k \cdot \frac{Q_1}{d_1} + k \cdot \frac{Q_2}{d_2} + \dots + k \cdot \frac{Q_n}{d_n} \quad (5.4)$$

### **Exercício**

2) - A figura representa duas partículas pontuais de cargas positivas  $Q = 8,0 \mu\text{C}$  e  $q = 0,2 \text{ nC}$  no vácuo, separadas pela distância  $d = 0,45 \text{ m}$ . Determine:

(a) a energia potencial elétrica do sistema; e

(b) o potencial elétrico gerado por  $Q$  na posição onde está a partícula de carga  $q$ .



### Solução

item (a): Aplicando a expressão para energia potencial elétrica:

$$E_{pe} = k \frac{Qq}{d} \longrightarrow E_{pe} = 9,0 \times 10^9 \cdot \frac{(8,0 \times 10^{-6}) \cdot (2,0 \times 10^{-10})}{0,45} \longrightarrow E_{pe} = 3,2 \times 10^{-5} J.$$

item (b): Para calcular o potencial  $V_{Qd}$  gerado pela carga  $Q$  à distância  $d$  basta aplicar a expressão do potencial elétrico:

$$V = k \cdot \frac{Q}{d} \longrightarrow V_{Qd} = 9,0 \times 10^9 \cdot \frac{(8,0 \times 10^{-6})}{0,45} \longrightarrow V_{Qd} = 1,6 \times 10^5 V.$$

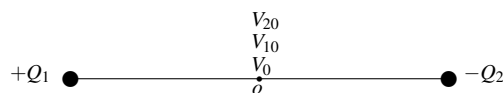
Nota:

*Pode-se entender o significado dessa energia imaginando que as partículas estão presas nas posições indicadas: quando soltas elas tendem a se afastar e realizar um trabalho de  $3,2 \times 10^{-5} J$ .*

### **– DIFERENÇA DE POTENCIAL (DDP) E TRABALHO EM UM CAMPO ELÉTRICO**

Para entendermos a necessidade do conceito de ddp, vamos analisar uma situação física de dois modos:

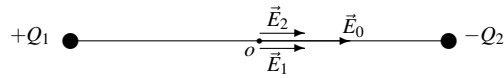
Análise com o potencial elétrico  $V$ .



$$\text{no ponto } 0, \left\{ \begin{array}{l} Q_1 \text{ cria o potencial } V_{10} = +k \cdot \frac{Q_1}{d} \\ Q_2 \text{ cria o potencial } V_{20} = -k \cdot \frac{Q_2}{d} \end{array} \right.$$

O potencial resultante  $V_0$  no ponto 0 é dado por  $V_0 = V_{10} + V_{20} = 0$ .

Análise com o vetor campo elétrico  $\vec{E}$ .



$$\text{no ponto } 0, \begin{cases} Q_1 \text{ cria o vetor campo elétrico } \vec{E}_1, \text{ de módulo } E_1 = k \cdot \frac{|Q_1|}{d^2} \\ Q_2 \text{ cria o vetor campo elétrico } \vec{E}_2, \text{ de módulo } E_2 = k \cdot \frac{|Q_2|}{d^2} \end{cases}$$

O vetor campo elétrico resultante  $\vec{E}_0$  no ponto 0 é dado por  $\vec{E}_0 = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$  e tem módulo diferente de zero. Os vetores  $\vec{E}_1$  e  $\vec{E}_2$  têm mesma intensidade, direção e sentido, logo o módulo de  $\vec{E}_0$  pode ser dado por,

$$E_0 = E_1 + E_2, \quad \text{como } E_1 = E_2 \quad \longrightarrow \quad E_0 = 2 \cdot E_1 \quad \text{ou} \quad E_0 = 2 \cdot E_2$$

Uma partícula de carga  $q$  colocada no ponto 0 certamente tende a se mover, pois sofrerá a ação de uma força ( $\vec{F}_0 = q\vec{E}_0$ ) em virtude do vetor campo elétrico resultante  $\vec{E}_0$ . Note que essa informação não pode ser obtida com a análise do potencial resultante  $V_0$  pois neste o mesmo tem valor nulo. Daí a necessidade do conceito de ddp entre dois pontos do campo elétrico.

$$\begin{array}{c} \overline{\hspace{10em}} \\ \text{V}_0 = 0 \\ \text{V}_0 > 0 \quad \longleftarrow \quad 0 \quad \longrightarrow \quad \text{V}_0 < 0 \end{array}$$

Qualquer ponto à direita do ponto 0 tem potencial negativo e à esquerda tem potencial positivo. Em outras palavras, há uma ddp entre o ponto 0 e qualquer ponto à sua direita ou à sua esquerda.

Assim, uma partícula de carga  $q$  colocada em 0 não fica em equilíbrio porque há potenciais maiores de um lado e menores de outro.

$$\text{no ponto } 0, \begin{cases} \text{Se } q > 0 \quad \longrightarrow \quad \text{tende a ir para potenciais menores} \\ \text{Se } q < 0 \quad \longrightarrow \quad \text{tende a ir para potenciais maiores} \end{cases}$$

Do ponto de vista da descrição de uma situação física, a ddp entre dois pontos fornece o

mesmo nível de informação que o vetor campo elétrico.

A ddp ( $\Delta V$ ) entre dois pontos, A e B, de um campo elétrico, de potenciais elétricos  $V_A$  e  $V_B$ , é definida por,

$$\Delta V_{AB} = V_A - V_B \quad (5.5)$$

### Exercício

1) - Em uma linha de força do campo elétrico gerado por uma partícula de carga positiva  $Q = 6,0\mu C$  fixa e dois pontos, A e B, à distância  $d_A = 1,5m$  e  $d_B = 0,2m$ , dessa partícula no vácuo. Determine:

(a) ddp entre A e B;

(b) O trabalho mínimo realizado para levar uma partícula de prova de carga  $q = 2,0 \times 10^{-8} C$  de A para B.

Solução:

- item (a), aplicando a expressão do potencial em A e em B.

$$V = k \cdot \frac{Q}{d} \quad \longrightarrow \quad V_A = k \cdot \frac{Q}{d_A} \quad \longrightarrow \quad V_A = 9,0 \times 10^9 \cdot \frac{6,0 \times 10^{-6}}{1,5}$$

$$V_A = 3,6 \times 10^4 V$$

$$V = k \cdot \frac{Q}{d} \quad \longrightarrow \quad V_B = k \cdot \frac{Q}{d_B} \quad \longrightarrow \quad V_B = 9,0 \times 10^9 \cdot \frac{6,0 \times 10^{-6}}{1,5}$$

$$V_B = 2,7 \times 10^5 V$$

- item (b), aplicando a fórmula do trabalho.

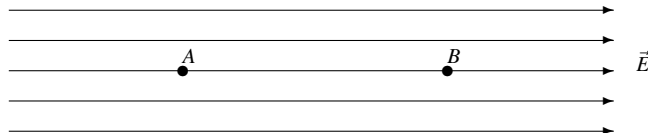
$$\tau_{AB} = q(V_B - V_A) \quad \longrightarrow \quad \tau_{AB} = 2,0 \times 10^{-8} (2,7 \times 10^5 - 0,36 \times 10^5)$$

$$\tau_{AB} = 4,7 \times 10^{-3} J$$



## – POTENCIAL ELÉTRICO EM CAMPO UNIFORME

Quando o campo elétrico é uniforme, o vetor campo elétrico é constante, e podemos fazer uma relação simples:  $A$  e  $B$  são dois pontos situados a uma distância  $d_{AB}$  um do outro em uma região onde o campo elétrico é uniforme.



Sendo  $V_A$  e  $V_B$  seus potenciais elétricos a relação da ddp entre esses pontos com o módulo do vetor campo elétrico correspondente é:

$$V_A - V_B = E d_{AB} \quad \text{ou} \quad \Delta V = E d_{AB} \quad (5.6)$$

Desta última expressão obtemos outra unidade do vetor campo elétrico. Fazendo  $E = \frac{\Delta V}{d}$ , o módulo do vetor campo elétrico pode ser expresso em volt/metro (V/m).

## 5.2 Verificação

1) - Abandonando uma carga elétrica *positiva* na presença de campo elétrico, sendo esta sujeitas apenas à ação da força elétrica, a mesma se deslocará espontaneamente. Determine:

(a) para que pontos do campo a carga se deslocará?

– **Resposta:** *para pontos de menor potencial elétrico.*

(b) se ao invés de *positivas* a carga fosse *negativa*?

– **Resposta:** *para pontos de maior potencial elétrico*

2) - Em uma linha de força do campo elétrico gerado por uma partícula de carga positiva  $Q = 2,4\mu\text{C}$  há dois pontos,  $A$  e  $B$ , cujo potenciais no vácuo são  $V_A = 5,4 \times 10^4 \text{V}$  e  $V_B = 1,8 \times 10^4 \text{V}$ . Determine:

(a) Distância  $d_A$  e  $d_B$  desses pontos em relação à partícula de carga  $Q$ .

(b) O trabalho mínimo realizado para levar uma partícula de prova de carga  $q = 2,0 \times 10^{-8} \text{ C}$  de  $A$  para  $B$ .

Dados:

- $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$  (constante eletrostática do vácuo)
- $\mu = \times 10^{-6}$  (um micro)

<b>UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE</b>				
<b>IE/IMEF</b>				
Nome da Escola: <u>Instituto Estadual de Educação Juvenal Miller</u>				
Professor da Escola: <u>Everaldo</u>				
Professor Estagiário: <u>Johny Carvalho</u>				
Supervisores da FURG: <u>Vigínia Machado &amp; Marcos Cardoso Rodriguez</u>				
Disciplina: <b>Física</b>	Série: <b>3º ano</b>	Turno: <b>Noturno</b>	Turma: <b>307</b>	Data: <b>10-AGO-2010</b>
Aluno:				Número:
<b>VERIFICAÇÃO DE EFICIÊNCIA</b>				

**6) [1,0 ponto]** - Qual das radiações tem menor poder de penetração? E qual delas pode atravessar o corpo humano causando danos irreparáveis?

**8) [1,0 ponto]** - A radiação gama ( $\gamma$ ) atravessa uma região de campo elétrico em linha reta, ou seja não, sofre nenhum desvio. Por que isto acontece?

**5) [1,0 ponto]** - Cite duas características das radiações  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ .

**1) [2,0 pontos]** – Num ponto de um campo elétrico, o vetor campo elétrico tem direção vertical, sentido para baixo e intensidade (módulo)  $E = 5,0 \times 10^3 \text{ N/C}$ . Coloca-se neste ponto, uma pequena esfera de peso  $P = 2,0 \times 10^{-3} \text{ N}$  e eletrizada com carga desconhecida. Sabendo que a pequena esfera fica em equilíbrio, determine:

(a) a intensidade (módulo), a direção e o sentido da força elétrica que atua na carga;

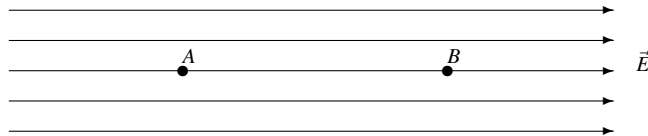
(b) o valor da carga.

**7) [1,0 ponto]** - Constatou-se que a radiação alfa ( $\alpha$ ) são partículas chamadas *partículas alfa* e estas quando atravessa um campo elétrico são atraídas pela placa negativa, então qual a carga da partícula  $\alpha$ ?

**4) [1,0 ponto]** - Por que o desvio da partícula  $\alpha$  é menor que o da partícula  $\beta$  quando estas

atravessam uma região de campo elétrico?

**2) [2,0 pontos]**– Uma carga elétrica puntiforme  $q = 1\mu C$  e de massa  $m = 10^{-6}kg$ , é abandonada, em repouso, num ponto  $A$  de um campo elétrico uniforme de intensidade  $E = 10^5 N/C$ , conforme a figura abaixo,



Determine:

- (a) a intensidade (módulo) da força elétrica que atua em  $q$ ;
  - (b) a aceleração do movimento de  $q$ ;
  - (c) a velocidade que  $q$  possui ao passar por  $B$ , situado a  $0,2m$  de  $A$ .
- Despreze as ações gravitacionais.

**3) [1,0 ponto]**– Sobre as quatro forças fundamentais da natureza:

- (a) Cite cada uma delas.
- (b) Qual a mais forte e qual a mais fraca?
- (c) Sabemos que o núcleo atômico é composto por prótons e nêutrons e sabemos ainda que cargas de mesmo sinal se repelem. Então qual das forças fundamentais mantém o núcleo atômico estável, evitando que o mesmo seja destruído pela repulsão da força coulombiana?

**BOA PROVA !**