

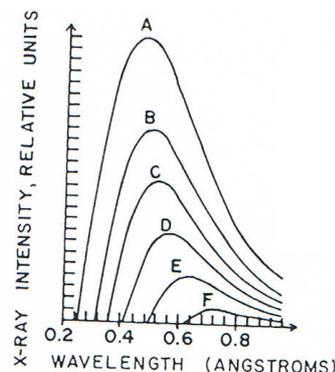
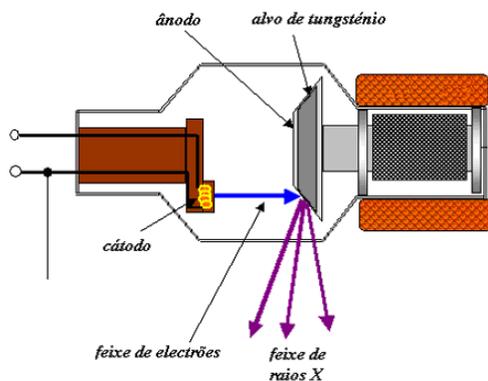
**Eletromagnetismo F102**  
**2013-2014**  
**TP #3**

---

1. Considere duas cargas pontuais iguais  $Q$ , situadas em  $(\pm L/2, 0)$ .
  - (a) Determine a expressão do campo elétrico criado por estas cargas num ponto genérico do plano  $Oxy$ . Verifique que a origem é um ponto de equilíbrio de uma outra carga pontual  $q$ . Indique se essa posição de equilíbrio é estável ou instável.
  - (b) Considerando que a carga pontual  $q$  tem o mesmo sinal de  $Q$  e só pode mover-se segundo o eixo  $Ox$ , determine a frequência das oscilações de pequena amplitude dessa partícula em torno da posição de equilíbrio.
  - (c) Se a carga pontual  $q$  for de sinal oposto ao da carga  $Q$ , determine em que condições poderia a carga  $q$  oscilar em torno da posição de equilíbrio.

2. Um quadrupolo elétrico é constituído por uma carga efetiva  $-2q$  situada na origem, e por outras duas cargas  $+q$  situadas no eixo  $Oy$  em  $(0, \pm a)$ .
  - (a) Determine o campo elétrico num ponto do eixo  $x$  muito afastado das cargas ( $|x| \gg a$ ).
  - (b) Determine o campo elétrico num ponto do eixo  $y$  muito afastado das cargas ( $|y| \gg a$ ).

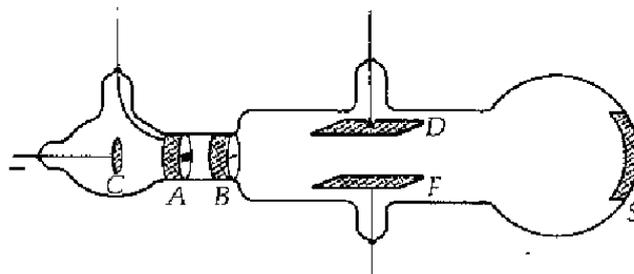
3. As ampolas de raios X são utilizadas como fonte de radiação em aplicações diversas, como em difratómetros (para caracterização estrutural de materiais) e em radiologia convencional. O seu funcionamento baseia-se na interação de um feixe de eletrões, emitidos por um cátodo aquecido, que colidem com um alvo, que funciona como ânodo. Parte da energia cinética dos eletrões é perdida no processo de deflexão pelos núcleos atômicos do alvo, com redução da sua velocidade, e conseqüente emissão de radiação X de espectro contínuo (bremsstrahlung, ou radiação de travagem). Outra parte da energia cinética dos eletrões incidentes é utilizada para ejetar eletrões dos átomos do alvo, de níveis com baixo número quântico  $n$ ; então, quando eletrões de orbitais mais energéticas transitam para o estado desocupado, é emitida radiação de frequência bem definida, dando origem a riscas no espectro de raios X, características do material do alvo. A intensidade da radiação e a energia dos fótons X dependem da intensidade do campo elétrico aplicado entre o cátodo e o ânodo, que se admite uniforme por simplicidade. As figuras seguintes apresentam um esquema de uma ampola de raios X, e espectros da radiação de *bremsstrahlung* com alvo de tungsténio, obtidos para diferentes valores de campo elétrico.



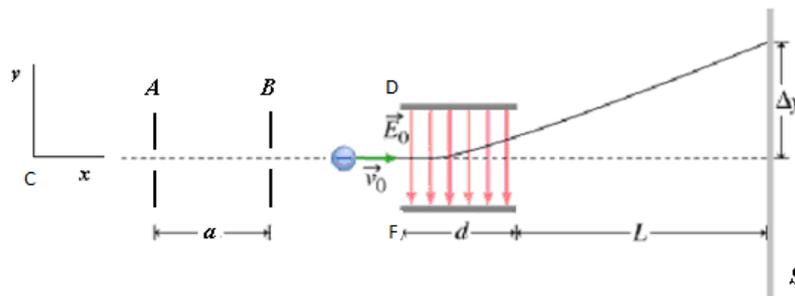
(a) Indique, justificando, em qual das situações  $A - F$  é mais energético o feixe de elétrons que incide no alvo. Calcule o valor da energia cinética máxima dos elétrons que dão origem ao espectro indicado pela letra  $A$ .

(b) Determine a intensidade do campo elétrico uniforme que acelera os elétrons considerados na alínea anterior. Considere que a distância entre o cátodo e o ânodo é igual a  $5\text{cm}$ .

4. Um tubo de raios catódicos permite formar imagens num televisor, no visor de um radar, ou num osciloscópio. Foi com um tubo de raios catódicos que o físico inglês J. J. Thomson (1856-1940) levou a cabo várias experiências com o objetivo de determinar a razão carga/massa ( $e/m$ ) do elétron. Na figura seguinte representa-se um esquema de um tubo de raios catódicos, munido de um cátodo emissor ( $C$ ), elétrodos de aceleração ( $A, B$ ), e de placas defletoras ( $D, F$ ), e um ecrã  $S$ , no vácuo.



Os elétrons são emitidos do cátodo  $C$ , aquecido a altas temperaturas, por efeito termiônico, e são acelerados por um campo elétrico axial na região entre as placas  $A$  e  $B$ , de modo a adquirirem a velocidade  $\vec{v}_0 = v_0 \hat{x}$ . Os elétrons entram, seguidamente, numa região entre as placas defletoras horizontais  $D$  e  $F$ , onde existe um campo elétrico  $\vec{E}_0 = E_0 \hat{y}$ , sendo defletidos pela ação da força elétrica. Uma vez fora da região entre as placas  $D$  e  $F$ , os elétrons incidem num ecrã  $S$ . A figura seguinte é um esquema simplificado do sistema físico.



(a) Admitindo que os elétrons ejetados do cátodo  $C$  têm energia cinética inicial desprezável, calcule a intensidade do campo elétrico entre os elétrodos  $A$  e  $B$  de modo que o elétron adquira a velocidade  $\vec{v}_0$ . Indique, justificando, a direção e o sentido desse campo elétrico.

(b) Calcule a força elétrica que atua no elétron enquanto este se encontra sob a ação do campo elétrico criado pelos elétrodos  $D$  e  $F$ . Indique o tipo de movimento do elétron e a respetiva trajetória nessa região. Calcule a velocidade  $\vec{v}$  e as coordenadas  $(x, y)$  do ponto de saída do elétron da região entre as placas  $D$  e  $F$ .

(c) Calcule uma expressão para a deflexão final  $\Delta y$  no ecrã  $S$  em função dos parâmetros do sistema. Determine uma relação entre a razão  $e/m$  e os parâmetros do sistema.

5. Considere um condensador plano paralelo carregado, com armaduras quadradas de lado  $a = 20\text{cm}$ . Uma armadura situa-se no plano  $Oxy$  e está centrada na origem  $O$ , com lados paralelos aos eixos  $Ox$ ,  $Oy$ . A outra armadura situa-se no plano  $z = 2\text{cm}$ . O campo elétrico entre as armaduras é  $\vec{E} = E_0\hat{z}$ , sendo  $E_0 = 3 * 10^3\text{NC}^{-1}$ . Um eletrão é lançado da origem, com velocidade inicial  $\vec{v}_0 = v_0/\sqrt{2}(\hat{y} + \hat{z})$ , sendo  $v_0 = 5 * 10^6\text{ms}^{-1}$ . Determine em que armadura ocorre a colisão do eletrão, e determine a sua localização.

6. Considere um sistema de três cargas elétricas pontuais:

$q_1 = 3\mu\text{C}$ , em  $(-2,0)$ ;  $q_2 = 5\mu\text{C}$ , em  $(2,0)$ ;  $q_3 = -2\mu\text{C}$ , em  $(0,2)$ ; distâncias em metros. Calcule o trabalho realizado por um agente exterior para deslocar  $q_2$  do ponto indicado para a origem do referencial, mantendo  $q_1$  e  $q_3$  nas suas posições.

7. Considere três pequenas esferas, no vácuo, carregadas eletricamente com cargas iguais a  $+3\mu\text{C}$ , cada uma colocada num dos vértices de um triângulo equilátero, de lado  $5.0\text{cm}$ . Calcule:

- (a) O potencial elétrico criado por este sistema de cargas no centro do triângulo.
- (b) O trabalho realizado para transportar uma carga pontual de valor  $-2\mu\text{C}$ , desde um ponto muito afastado da distribuição até ao centro do triângulo.
- (c) A energia eletrostática do sistema formado pelas quatro cargas.

8. Um feixe de partículas alfa (núcleos de  ${}^4_2\text{He}$ ), de energia cinética  $7.68\text{ MeV}$ , colide com núcleos de ouro ( ${}^{197}_{79}\text{Au}$ ).

- (a) Determine a mínima distância de aproximação entre uma partícula alfa e um núcleo de ouro, admitindo que a essa distância a energia potencial é igual à energia cinética inicial da partícula alfa.
- (b) Nas condições da alínea anterior, calcule o valor da força eletrostática que atua na partícula alfa, e a aceleração, expressa em  $g$ .

9. Considere um arranjo de cargas pontuais de módulo  $q$ , positivas e negativas, colocadas alternadamente numa linha reta. A distância entre as cargas é  $a$ . Mostre que a energia de uma das cargas do sistema é  $U = -\frac{q^2}{2\pi\epsilon_0 a} \ln 2$ .

10. Considere a seguinte distribuição de quatro cargas pontuais no vácuo ( $q > 0$ ;  $d > 0$ ): duas cargas  $-q$  situadas em  $(\pm d, 0, 0)$ ; duas cargas  $+q$  situadas em  $(\pm 2d, 0, 0)$ .

- (a) Determine o campo elétrico  $\vec{E}(0, y, 0)$  criado pelas cargas no eixo  $Oy$ . Deduza uma expressão aproximada de  $\vec{E}(0, y, 0)$  sendo  $|y| \gg d$ .
- (b) Determine a energia despendida na criação deste sistema de quatro cargas pontuais.
- (c) Um dipolo elétrico de momento dipolar  $\vec{p}$  situa-se num ponto  $(0, y > 0, 0)$ , sujeito à acção do campo das cargas pontuais. Indique as orientações de máxima e mínima energia potencial elétrica do dipolo, e os respetivos valores.