

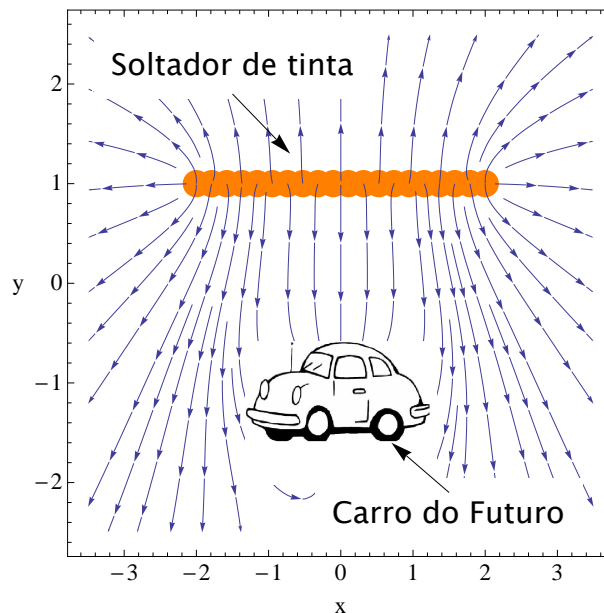
AULA 4: ENERGIA ELETROSTÁTICA E POTENCIAL ELETROSTÁTICO

Exercício em sala

SOLUÇÃO

No filme *Minority Report* (2002; <http://www.imdb.com/title/tt0181689/>), que se passa no ano de 2054, há um cena dentro de uma fábrica de automóveis onde um carro que acabou de sair da linha de produção é pintado automaticamente com um spray de tinta vermelha. A pintura recobre somente a lataria metálica, não aderindo em partes indesejadas como nos vidros por exemplo. Esta técnica, conhecida como *pintura eletrostática*, foi patenteada na década de 1940 e vem sendo utilizada há diversas décadas na indústria automobilística (obviamente não com a mesma eficiência do filme).

Na figura abaixo está a minha concepção da cena. Há apenas dois objetos relevantes: o “soltador de tinta” (eu não encontrei um nome melhor) e o carro. Ambos estão carregados com cargas diferentes. As linhas na figura representam as linhas de campo entre eles. As gotas de tinta, por sua vez, também estão carregadas e são influenciadas, portanto, por este campo elétrico. O Tom Cruise, teoricamente, está dentro do carro; mas isso não é relevante para o problema.



Perguntas conceituais

(a) De acordo com a figura, a carga do soltador de tinta deve ser: Positiva Negativa.

Já a do carro será: Positiva Negativa.

Linhas de campo são sempre “criadas” em cargas positivas (ou no infinito) e “destruídas” em cargas negativas (ou no infinito).

(b) Qual objeto está em um potencial maior? Explique.

O soltador de tinta possui um potencial eletrostático maior; linhas de campo sempre tendem de um potencial maior para um potencial menor.

- (c) Suponha que colocamos uma partícula carregada com uma carga q em um ponto *entre* o carro e o soltador de tinta.

Se $q > 0$ ela será atraída na direção do *carro*

Se $q < 0$ ela será atraída na direção do *soltador de tinta*

Portanto, para que o carro seja pintado, a carga das gotas deve ser *positiva*.

- (d) Note que as linhas de campo entre o carro e o soltador de tinta são razoavelmente verticais. Se elas fossem perfeitamente verticais, em qual direção eu deveria mover uma carga tal que o trabalho realizado fosse nulo?

O trabalho realizado por mim é

$$W = - \int_a^b \mathbf{F}_{\text{el}} \cdot d\mathbf{r}$$

Como \mathbf{F}_{el} está na direção \hat{j} , é possível mover a carga sem realizar trabalho mantendo-a na horizontal.

Análise quantitativa

Suponha que cada gota de tinta possui uma carga média $q = 5\text{pC}$ [lê-se “pico-Coulomb”; $1\text{pC} = 10^{-12}\text{C}$]. As gotas são esféricas, com raio $r = 10\mu\text{m}$ e densidade $\rho_{\text{gota}} = 8,51 \times 10^2\text{kg/m}^3$. Suponha também que o soltador de tinta é mantido a um potencial $V_S = 1000\text{V}$ e que o carro está aterrado; ou seja, por definição possui $V_C = 0$.

- (e) Uma gota de tinta parte do repouso próxima do soltador de tinta. Qual será a diferença na sua energia potencial ao chegar no carro?

Lembrando que a energia potencial (U) está relacionada como o potencial (V) através da relação $U = qV$, temos que a diferença em energia potencial será

$$\Delta U = q(V_C - V_S) = -qV_S = -5 \times 10^{-9}\text{J}$$

- (f) Se desprezarmos o atrito com o ar (o que é uma *péssima* aproximação), então toda a diferença em energia potencial será convertida em energia cinética. Neste caso, qual será a velocidade da gota ao atingir o carro? [Lembre-se que a energia cinética é dada por $T = 1/2mv^2$]

Como estamos desprezando o atrito com o ar, podemos utilizar a conservação de energia e escrever

$$T_i + U_i = T_f + U_f,$$

onde T é a energia cinética e os índices i e f denotam o início e o fim do movimento, respectivamente. Como a gota de tinta partiu do repouso, $T_i = 0$ e portanto

$$T_f = U_i - U_f = -\Delta U = qV_S$$

Lembrando que $T = 1/2mv^2$ chegamos a

$$v = \sqrt{\frac{2qV_S}{m}}$$

Para calcularmos a massa (m), devemos lembrar que a gota é esférica, o que nos permite escrever

$$m = \rho_{\text{gota}} \left(\frac{4\pi}{3} r^3 \right) \simeq 3,56 \times 10^{-12}\text{kg}$$

Portanto

$$v \simeq 52,97\text{m/s}$$

- (g) As gotas de tinta, possuindo todas cargas do mesmo sinal, irão se repelir mutuamente. Esta é outra vantagem do método, já que ao chegarem no carro as gotas tenderão a ficar o mais afastado possível umas das outras. Seja $R_1 = 3\text{cm}$ a distância entre elas no início da trajetória. Qual é a aceleração causada pela repulsão mútua entre as cargas? Se, ao chegar no carro, a distância entre elas for $R_2 = 30\text{cm}$, qual será a nova aceleração?

A força de repulsão eletrostática entre duas cargas q separadas à uma distância R é

$$F_{\text{el}} = \frac{kq^2}{R^2},$$

onde $k = 9 \times 10^9 \text{Nm}^2/\text{C}^2$. Da segunda lei de Newton obtemos a aceleração:

$$a = \frac{F_{\text{el}}}{m} = \frac{kq^2}{mR^2}$$

Portanto, concluímos que:

$$R_1 = 3\text{cm} \longrightarrow a_1 \simeq 70,13\text{m/s}^2$$

$$R_2 = 30\text{cm} \longrightarrow a_2 \simeq 0,7013\text{m/s}^2$$

Quando a distância aumenta por um fator 10, a repulsão eletrostática diminui por um fator 100, já que $F_{\text{el}} \propto 1/R^2$. Consequentemente, a aceleração também diminui por um fator 100. Note que estes valores para a são bastante altos, mesmo para cargas extremamente pequenas. O que acontece é que as aproximações que supusemos não são adequadas; em particular, a viscosidade do meio é elevadíssima, dificultando que as cargas acelerem de forma significativa.