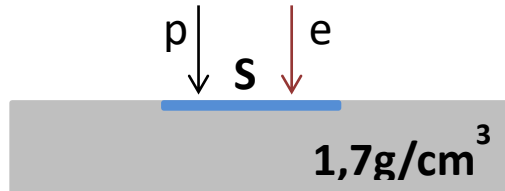


## Soluções:

### Questão 1:

---



a)

$$S = 1,6 \text{ cm}^2$$
$$t = 16 \text{ s}$$

**Eletrons:**

$$E = 10 \text{ MeV}$$
$$I = 10 \text{ nA}$$

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{N_e \cdot q_e}{\Delta t} \rightarrow N_e = \frac{I \cdot \Delta t}{q_e} = \frac{10 \times 10^{-9} \text{ A} \cdot 16 \text{ s}}{1,6 \times 10^{-19} \text{ C}}$$

$$N_e = 10^{12} \text{ eletrons}$$

$$D_e = (S_c)_e \cdot \frac{N_e}{S} = 2 \frac{\text{MeV} \cdot \text{cm}^2}{\text{g}} \times \frac{10^{12}}{1,6 \text{ cm}^2} = \frac{2 \text{ MeV} \cdot (1,6 \times 10^{-13} \text{ J/MeV}) \cdot 10^{12}}{1,6 \times 10^{-3} \text{ kg}}$$

$$D_e = 200 \text{ Gy}$$

**Prótons:**

$$E = 100 \text{ MeV}$$
$$I = 0,1 \text{ nA}$$

$$N_p = \frac{I \cdot \Delta t}{q_p} = \frac{0,1 \times 10^{-9} \text{ A} \cdot 16 \text{ s}}{1,6 \times 10^{-19} \text{ C}}$$

$$N_p = 10^{10} \text{ prótons}$$

$$D_p = (S_c)_p \cdot \frac{N_p}{S} = 10 \frac{\text{MeV} \cdot \text{cm}^2}{\text{g}} \times \frac{10^{10}}{1,6 \text{ cm}^2} = \frac{10 \text{ MeV} \cdot (1,6 \times 10^{-13} \text{ J/MeV}) \cdot 10^{10}}{1,6 \times 10^{-3} \text{ kg}}$$

$$D_p = 10 \text{ Gy}$$

**Dose total:**

$$D_T = D_e + D_p = 210 \text{ Gy}$$

Obs: Os valores de dose obtidos podem variar dependendo do valor de  $S_c$  observado no gráfico

**b)**

Do item a) vimos que uma corrente de 0,1 nA é composta por  $10^{10}$  partículas.

**Elétrons:**

$$N_e = 10^{10}$$

$$E = 6 \text{ MeV}$$

$$\text{Alcance} = 2 \text{ cm}$$

**Prótons:**

$$N_p = 10^{10}$$

$$E = 60 \text{ MeV}$$

$$\text{Alcance} = 2 \text{ cm}$$

Como a espessura do grafite (3 cm) é maior que o alcance dos prótons e elétrons, ocorre a deposição total de energia dos feixes. Logo:

$$\bar{D} = N \frac{\Delta E_c}{\Delta m}$$

$$\Delta m = \rho V = \frac{1,7g}{cm^3} \cdot 1,6 \text{ cm}^2 \cdot 3 \text{ cm} = 8,16g = 8,16 \times 10^{-3}kg$$

$$\bar{D}_e = 10^{10} \frac{6 \text{ MeV} \cdot (1,6 \times 10^{-13}J/MeV)}{8,16 \times 10^{-3}kg} \cong 1,2 \text{ Gy}$$

$$\bar{D}_p = 10^{10} \frac{60 \text{ MeV} \cdot (1,6 \times 10^{-13}J/MeV)}{8,16 \times 10^{-3}kg} \cong 12 \text{ Gy}$$

$$\bar{D}_T = \bar{D}_e + \bar{D}_p \cong 13,2 \text{ Gy}$$

**c)**

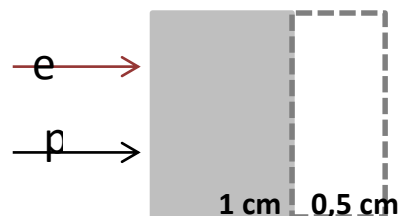
**Elétrons:**

$$I = 0,1 \text{ nA}$$

$$N_e = 10^{10} \text{ (do item b, para } I = 0,1 \text{ nA)}$$

$$E = 4 \text{ MeV}$$

$$\text{Alcance} = 1,5 \text{ cm}$$



Os elétrons tem alcance de 1,5 cm. Do alcance inicial (1,5 cm) foram percorridos apenas 1 cm, restando para os eletrons um percurso de 0,5 cm como indicado na figura acima. Da figura do enunciado, vemos que 0,5 cm corresponde ao alcance de elétrons de 2 MeV. Assim, cada elétron perdeu, em média,  $4 \text{ MeV} - 2 \text{ MeV} = 2 \text{ MeV}$ .

$$\overline{D}_e = N \frac{\Delta E_c}{\Delta m}$$

$$\Delta m = \rho V = \frac{1,7g}{cm^3} \cdot 1,6 cm^2 \cdot 1 cm = 2,72g = 2,72 \times 10^{-3}kg$$

$$\overline{D}_e = 10^{10} \frac{2 MeV \cdot (1,6 \times 10^{-13}J/MeV)}{2,72 \times 10^{-3}kg} \cong 1,176 Gy$$

**Prótons:**

$$I = 10 nA$$

$$N_p = 10^{12} \text{ (do item a, para } I = 10 nA)$$

$$E = 50 MeV$$

$$\text{Alcance} = 1,5 cm$$

Os prótons de 50 MeV tem alcance de 1,5 cm. Do alcance inicial (1,5 cm) foram percorridos apenas 1 cm, restando para os prótons um percurso de 0,5 cm como indicado na figura acima. Da figura do enunciado, vemos que 0,5 cm corresponde ao alcance de elétrons de 30 MeV. Assim, cada próton perdeu, em média, 50 MeV - 30 MeV = 20 MeV.

$$\overline{D}_p = N \frac{\Delta E_c}{\Delta m}$$

$$\overline{D}_p = 10^{12} \frac{20 MeV \cdot (1,6 \times 10^{-13}J/MeV)}{2,72 \times 10^{-3}kg} \cong 11,8 \times 10^2 Gy$$

Questão 2:

---

Dados de stopping power obtidos de:

<http://physics.nist.gov/PhysRefData/Star/Text/ESTAR.html>

**Grafite:**

$$N = 10^{15} \text{ partículas}$$

$$\Delta E = 3 MeV \text{ por partícula}$$

$$S_c = 1,745 MeV \cdot cm^2/g$$

$$S_R = 0,151 MeV \cdot cm^2/g$$

$$S_T = 1,896 MeV \cdot cm^2/g$$

$$y = \frac{S_R}{S_R + S_c} \cong 0,08$$

$$E_{Rad} = y \cdot \Delta E = 0,24 MeV \text{ por elétron}$$

$$(E_{Rad})_{Total} = 0,24 \times 10^{15} MeV$$

Espessura:

$$\Delta E = \rho \Delta x S_T \quad \rightarrow \quad \Delta x = \frac{\Delta E}{\rho S_T} = \frac{3 \text{ MeV}}{1,7 \text{ g/cm}^3 \times 1,9 \text{ MeV.cm}^2/\text{g}} = 0,92 \text{ cm}$$

**Chumbo:**

$$N = 10^{15} \text{ partículas}$$

$$\Delta E = 3 \text{ MeV por partícula}$$

$$S_c = 1,201 \text{ MeV.cm}^2/\text{g}$$

$$S_R = 1,206 \text{ MeV.cm}^2/\text{g}$$

$$S_T = 2,407 \text{ MeV.cm}^2/\text{g}$$

$$y = \frac{S_R}{S_R + S_c} \cong 0,5$$

$$E_{Rad} = y \cdot \Delta E = 1,5 \text{ MeV por elétron}$$

$$(E_{Rad})_{Total} = 1,5 \times 10^{15} \text{ MeV}$$

Espessura:

$$\Delta E = \rho \Delta x S_T \quad \rightarrow \quad \Delta x = \frac{\Delta E}{\rho S_T} = \frac{3 \text{ MeV}}{11,4 \text{ g/cm}^3 \times 2,407 \text{ MeV.cm}^2/\text{g}} = 0,11 \text{ cm}$$