Exercícios Resolvidos de Teoria Eletromagnética

Jason Alfredo Carlson Gallas

Professor Titular de Física Teórica

Doutor em Física pela Universidade Ludwig Maximilian de Munique, Alemanha

Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
91501-970 Porto Alegre, BRASIL

Matéria para a SEGUNDA prova. Numeração conforme a **quarta** edição do livro
"Fundamentos de Física", Halliday, Resnick e Walker.

Esta e outras listas encontram-se em: *http://www.if.ufrgs.br/∼jgallas*

Conteúdo

Comentários/Sugestões e Erros: favor enviar para `jgallas @ if.ufrgs.br`
(`lista2.tex`)

28 Corrente e Resistência

28.1 Questões

Q 28-1.

► No estado estacionário não pode existir nenhuma carga livre no interior da superfície fechada. Portanto, a taxa de variação da carga que entra (corrente que entra) deve ser exatamente igual à corrente que sai. Ou seja, a integral de $\mathbf{J} \cdot d\mathbf{A}$ ao longo da superfície externa do corpo é igual a zero. Isto será sempre verdade, independentemente do número de condutores que entram ou que saem da superfície considerada. Como a Lei de Gauss também pode ser aplicada no estado estacionário, concluímos que o fluxo elétrico também não pode variar através da superfície externa do corpo.

Q 28-19.

► Este aparente paradoxo possui solução trivial. Você não pode comparar situações diferentes, ou seja, você deve especificar a(s) grandeza(s) que permanece(m) constante(s) em cada situação concreta. Mantendo-se V fixo, a potência P varia de acordo com a relação $P = V^2/R$. Mantendo-se i fixo, a potência P varia de acordo com a relação $P = Ri^2$. Caso ocorra uma variação simultânea de i e de V, a potência P só pode ser determinada mediante o cálculo integral; neste caso, você não poderá usar nenhuma das duas relações anteriores.

28.2 Problemas e Exercícios

28.2.1 Corrente elétrica

E 28-1.

Uma corrente de 5 A percorre um resistor de 10 Ω durante 4 minutos. *(a)* Quantos coulombs e *(b)* quantos elétrons passam através da secção transversal do resistor neste intervalo de tempo?

► *(a)* A carga que passa através de qualquer secção transversal é o produto da corrente e o tempo. Como 4 minutos correspondem a $4 \times 60 = 240$ segundos, temos $q = it = 5 \times 240 = 1200$ C.
(b) O número de elétrons é dado por $q = N\,e$, onde e é a magnitude da carga de um elétron. Portanto $N = q/e = (1200\text{ C})/(1.60 \times 10^{-19}\text{ C}) = 7.5 \times 10^{21}$ elétrons.

E 28-3.

Uma esfera condutora isolada tem um raio de 10 cm. Um fio transporta para dentro dela uma corrente de $1,0000020$ A. Um outro fio transporta uma corrente de $1,0000000$ A para fora da esfera. Quanto tempo levaria para que o potencial da esfera sofresse um aumento de 1000 V?

► Suponha que a carga na esfera aumente de Δq num tempo Δt. Então neste tempo seu potencial aumenta de $\Delta V = \Delta q/(4\pi\epsilon_0 r)$, onde r é o raio da esfera. Isto significa que $\Delta q = 4\pi\epsilon_0\, r\, \Delta V$.
Porém $\Delta q = (i_{\text{entra}} - i_{\text{sai}})\,\Delta t$. Portanto

$$\begin{aligned}\Delta t &= \frac{\Delta q}{i_{\text{entra}} - i_{\text{sai}}} = \frac{4\pi\epsilon_0 r \Delta V}{i_{\text{entra}} - i_{\text{sai}}}\\ &= \frac{(0.10\text{ m})(1000\text{ V})}{(9 \times 10^9\text{ F/m})(1.0000020\text{ A} - 1\text{ A})}\\ &= 5.6 \times 10^{-3}\text{ s.}\end{aligned}$$

28.2.2 Densidade de corrente

E 28-5.

Um feixe contém 2×10^8 íons positivos duplamente carregados por cm^3, todos movendo-se para o norte com velocidade de 1×10^5 m/s. *(a)* Quais são o módulo, a direção e o sentido da densidade de corrente $\mathbf{J}$? *(b)* Podemos calcular a corrente total i neste feixe de íons? Em caso negativo, que informações adicionais são necessárias?

► *(a)* A magnitude da densidade de corrente é dada por $J = nqv_d$, onde n é o número de partículas por unidade de volume, q é a carga de cada partícula, e v_d é a velocidade de deriva das partículas. A concentração das partículas é $n = 2 \times 10^8\text{ cm}^{-3} = 2 \times 10^{14}\text{ m}^{-3}$ a carga é $q = 2e = 2(1.60 \times 10^{-19}\text{ C}) = 3.20 \times 10^{-19}$ C, e a velocidade de deriva é 1×10^5 m/s. Portanto

$$\begin{aligned}J &= (2 \times 10^{14}\text{ m}^{-3})(3.2 \times 10^{-19}\text{ C})\big(1 \times 10^5 \frac{m}{s}\big)\\ &= 6.4\text{ A/m}^2.\end{aligned}$$

Como as partículas estão carregadas positivamente, a densidade de corrente está na mesma direção do movimento: para o norte.

(b) A corrente não pode ser calculada a menos que a área da secção transversal seja conhecida. Se o for, podemos determinar a corrente total usando a equação $i = J\,A$.

E 28-7.

Um fusível num circuito elétrico é um fio cujo objetivo é derreter-se e, desta forma, interromper o circuito, caso a corrente exceda um valor predeterminado. Suponha que o material que compõe o fusível se derreta sempre que a densidade de corrente atingir 440 A/cm^2. Qual o diâmetro do condutor cilíndrico que deverá ser usado para restringir a corrente a 0.5 A?

▶ A magnitude da densidade de corrente é $J = i/A = i/(\pi r^2)$, onde r é o raio do fio. Portanto

$$\begin{aligned} r &= \sqrt{\frac{i}{\pi\,J}} \\ &= \sqrt{\frac{0.5\text{ A}}{\pi\,(440\times 10^4\text{ A/m}^2)}} \\ &= 1.9\times 10^{-4}\text{ m.} \end{aligned}$$

O diâmetro é $D = 2r = 3.8\times 10^{-4}$ m.

P 28-14.

Um feixe estacionário de partículas alfa ($q = 2e$), deslocando-se com energia cinética constante de 20 MeV, transporta uma corrente de 0.25 μA. **(a)** Se o feixe for dirigido perpendicularmente contra uma superfície plana, quantas partículas alfa atingirão a superfície em 3 segundos? **(b)** Num instante qualquer, quantas partículas existem em 20 cm de comprimento do feixe? **(c)** Qual foi a diferença de potencial necessária para acelerar cada partícula alfa, a partir do repouso, levando-a a uma energia de 20 MeV?

▶ *(a)* A corrente transportada é dada por $i = 2.5\times 10^{-7}$ C/s. Uma vez que cada partícula transporta uma carga igual a $2e$, o número n de partículas que atingem a superfície em três segundos é dado por

$$n = \frac{it}{2e} = \frac{0.25\times 10^{-6}\times 3}{2\times 1.6\times 10^{-19}} = 2.34\times 10^{12}\text{ partículas.}$$

(b) Seja N o número de partículas existentes no comprimento $L = 20$ cm do feixe. A corrente é dada por

$$i = \frac{q}{t} = \frac{2eN}{L/v} = \frac{2evN}{L}$$

e, portanto,

$$N = \frac{iL}{2ev}.$$

Para determinar este valor de N falta-nos apenas determinar a velocidade v. Para tanto, note que a massa de uma partícula α é dada por $m = 4m_p$, onde m_p é a massa do próton. Usando o fator de conversão do apêndice F para passar MeV para Joules, temos:

$$K = (20)(1.602\times 10^{-13}) = \frac{mv^2}{2}$$

Explicitando v e substituindo os dados numéricos, obtemos o seguinte resultado $v = 3.095\times 10^7$ m/s. Note que nestes cálculos usamos as fórmulas clássicas; se você desejar aplicar as fórmulas relativísticas, deverá consultar o Capítulo 42 do livro-texto. Substituindo este valor na expressão de N acima, encontramos facilmente:

$$N = 5.05\times 10^3\text{ partículas no feixe.}$$

(c) Como $K = QV$, o potencial V solicitado é dado por

$$\begin{aligned} V &= \frac{K}{Q} = \frac{20\,MeV}{2e} \\ &= \frac{20\times 1.60\times 10^{-13}}{2\times 1.6\times 10^{-19}} \\ &= 10\text{ M Volts.} \end{aligned}$$

28.2.3 Resistência e resistividade

E 28-17.

Um fio condutor tem diâmetro de 1 mm, um comprimento de 2 m e uma resistência de 50 $m\Omega$. Qual é a resistividade do material?

▶ A área da secção transversal é

$$A = \pi\,r^2 = \pi\,(0.5\times 10^{-3}\text{ m})^2 = 7.85\times 10^{-7}\text{ m}^2.$$

Portanto, a resistividade é

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{R\,A}{L} \\ &= \frac{(50\times 10^{-3}\ \Omega)(7.85\times 10^{-7}\text{ m}^2)}{2\text{ m}} \\ &= 2\times 10^{-8}\ \Omega\cdot\text{m.} \end{aligned}$$

E 28-18.

Uma pessoa pode ser eletrocutada se uma corrente tão pequena quanto 50 mA passar perto do seu coração. Um eletricista que trabalha com as mãos suadas faz um bom contato com os dois condutores que está segurando. Se a sua resistência for igual a 2000 Ω, de quanto será a voltagem fatal?

▶ Como a diferença de potencial V e a corrente i estão relacionadas por $V = i\,R$, onde R é a resistência do eletricista, a voltagem fatal é $V = (50 \times 10^{-3}\ \text{A})(2000\ \Omega) = 100$ V.

E 28-19.

Uma bobina é formada por 250 voltas de um fio de cobre n^o 16 (com diâmetro de 1.3 mm) isolado numa única camada de forma cilíndrica, cujo raio mede 12 cm. Determine a resistência da bobina. Despreze a espessura do material isolante.

▶ A resistência da bobina é dada por $R = \rho L/A$, onde L é o comprimento do fio, ρ a resistividade do cobre, e A é a área da secção transversal do fio. Como cada volta do fio tem comprimento $2\pi r$, onde r é o raio da bobina,

$$L = (250)(2\pi r) = (250)(2\pi)(0.12\ \text{m}) = 188.5\ \text{m}.$$

Sendo r_f o raio do fio, a área da sua secção transversal é $A = \pi r_f^2 = \pi(0.65 \times 10^{-3}\ \text{m})^2 = 1.33 \times 10^{-6}\ \text{m}^2$. Da Tabela 28-1 tiramos que a resistividade do cobre é $1.69 \times 10^{-8}\ \Omega \cdot \text{m}$. Portanto, finalmente,

$$R = \frac{\rho\,L}{A} = \frac{(1.69 \times 10^{-8}\ \Omega \cdot \text{m})(188.5\ \text{m})}{1.33 \times 10^{-6}\ \text{m}^2} = 2.4\ \Omega.$$

E 28-27.

Um fio cuja resistência é igual a 6 Ω é esticado de tal forma que seu novo comprimento é três vezes seu comprimento inicial. Supondo que não ocorra variação na resistividade nem na densidade do material durante o processo de esticamento, calcule o valor da resistência do fio esticado.

▶ Como a massa e a densidade do material não mudam, seu volume também permanece o mesmo. Se L_0 representar o comprimento original, L o novo comprimento, A_0 a área original da secção transversal, e A a área da nova secção transversal, então $L_0 A_0 = LA$ e

$$A = \frac{L_0 A_0}{L} = \frac{L_0 A_0}{3\,L_0} = \frac{A_0}{3}.$$

A nova resistência é

$$R = \frac{\rho\,L}{A} = \frac{\rho\,3\,L_0}{A_0/3} = 9\,\frac{\rho\,L_0}{A_0} = 9\,R_0,$$

onde R_0 é a resistência original. Portanto

$$R = 9 \times 6\ \Omega = 54\ \Omega.$$

P 28-30.

Dois condutores são feitos do mesmo material e têm o mesmo comprimento. O condutor A é um fio sólido e tem 1 mm de diâmetro. O condutor B é um tudo oco de diâmetro interno de 1 mm e de diâmetro externo de 2 mm. Quanto vale a razão entre as resistências R_A/R_B medidas entre as suas extremidades?

▶ A resistência do condutor A é dada por

$$R_A = \frac{\rho\,L}{\pi r_A^2},$$

onde r_A é o raio do condutor. Sendo r_i e r_e os raios *interno* e *externo*, respectivamente, do condutor B, temos para sua resistência a equação

$$R_B = \frac{\rho\,L}{\pi(r_e^2 - r_i^2)}.$$

A razão procurada é, portanto,

$$\begin{aligned}\frac{R_A}{R_B} &= \frac{r_e^2 - r_i^2}{r_A^2} \\ &= \frac{(1.0\ \text{mm})^2 - (0.5\ \text{mm})^2}{(0.5\ \text{mm})^2} \\ &= \frac{0.75}{0.25} = 3.\end{aligned}$$

P 28-36.

Quando uma diferença de potencial de 115 V é aplicada através de um fio cujo comprimento mede 10 m e cujo raio é de 0.3 mm, a densidade de corrente é igual a 1.4×10^4 A/m^2. Determine a resistividade do condutor.

▶ Use $J = E/\rho$, onde E é a magnitude do campo elétrico no fio, J é a magnitude da densidade de corrente, e ρ é a resistividade do material. O campo elétrico é dado por $E = V/L$, onde V é a diferença de potencial ao longo do fio e L é o comprimento do fio. Portanto $J = V/(L\rho)$ e

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{V}{L\,J} \\ &= \frac{11\ \text{V}}{(10\ \text{m})(1.4 \times 10^4\ \text{A/m}^2)} \\ &= 8.2 \times 10^{-4}\ \Omega \cdot \text{m}.\end{aligned}$$

P 28-41.

Quando uma barra metálica é aquecida, varia não só sua resistência, mas também seu comprimento e a área de sua seção transversal. A relação $R = \rho L/A$ sugere que todos os três fatores devem ser levados em conta na medida de ρ em temperaturas diferentes. **(a)** Quais são, para um condutor de cobre, as variações percentuais em R, L a A quando a temperatura varia de 1 grau centígrado. **(b)** Que conclusões podemos tirar daí? O coeficiente de dilatação linear do cobre é 1.7×10^{-5} por grau centígrado.

▶ *(a)* Seja ΔT a variação de temperatura e β o coeficiente de expansão linear do cobre. Então, $\Delta L = \beta L \Delta T$ e

$$\begin{aligned}\frac{\Delta L}{L} &= \beta \Delta T \\ &= (1.7 \times 10^{-5}) \times \Delta T = 1.5 \times 10^{-5} \\ &= 0.0017\,\%.\end{aligned}$$

Agora, como sabemos que a área A é proporcional a L^2, qualquer que seja o valor da constante de proporcionalidade, temos sempre que

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{2L\,\Delta L}{L^2} = 2\,\frac{\Delta L}{L} = 2\beta\Delta T.$$

Como $R = R(\rho, L, A)$, uma variação arbitrária de R é dada por

$$\Delta R = \frac{\partial R}{\partial \rho}\Delta\rho + \frac{\partial R}{\partial L}\Delta L + \frac{\partial R}{\partial A}\Delta A.$$

Da relação $R = \rho L/A$ obtemos facilmente que

$$\begin{aligned}\frac{\partial R}{\partial \rho} &= \frac{L}{A} = \frac{R}{\rho}, \\ \frac{\partial R}{\partial L} &= \frac{\rho}{A} = \frac{R}{L}, \\ \frac{\partial R}{\partial A} &= -\frac{\rho L}{A^2} = -\frac{R}{A}.\end{aligned}$$

Além disto, da Eq. 28-16, pg. 120, sabemos que $\Delta\rho/\rho = \alpha\ \Delta T$, onde α é o coeficiente de temperatura da resistividade do cobre que, segundo a Tabela 28-1, pg. 119, é dado por $\alpha = 4.3 \times 10^{-3}$ por grau. Portanto

$$\begin{aligned}\frac{\Delta R}{R} &= \frac{\rho}{\rho} + \frac{\Delta L}{L} - \frac{\Delta A}{A} \\ &= (\alpha + \beta - 2\beta)\Delta T \\ &= (\alpha - \beta)\Delta T \\ &= (4.3 \times 10^{-3} - 0.017 \times 10^{-3}) \times 1 \\ &= 0.428\,\% \\ &\simeq 0.43\,\%.\end{aligned}$$

(b) A mudança percentual na resistividade é muito maior que a mudança percentual no comprimento e na área. Mudanças no comprimento e na área afetam a resistência muito menos do que mudanças na resistividade.

P 28-42.

Um resistor tem a forma de um tronco circular reto (Fig. 28-20). Os raios da base são a e b e a altura é L. Para uma inclinação suficientemente pequena, podemos supor que a densidade de corrente é uniforme através de qualquer seção transversal. **(a)** Calcular a resistência deste objeto. **(b)** Mostre que sua resposta se reduz a $\rho L/A$ para o caso especial $b = a$.

▶ *(a)* Em cada secção do cone circula uma *mesma* corrente i, porém a densidade J é diferente. Chamando de x a distância a partir da face superior do cone, podemos expressar o campo elétrico $E(x)$ em cada secção em função da corrente i e usá-lo para achar a diferença de potencial total V através do cone. Então, a resistência será $R = V/i$.
Assumindo que a densidade J de cada secção é uniforme podemos escrever $i = \int J\ dA = \pi r^2\ J$, onde r é o raio da secção. Sabemos ainda que $J = E(x)/\rho$. Portanto, $i = \pi r^2\ E(x)/\rho$, de onde obtemos

$$E(x) = i\rho/(\pi r^2).$$

O raio r cresce linearmente com a distância x, de $r = a$ para $x = 0$, até $r = b$ para $x = L$. Assim sendo, da equação da reta que passa por estes pontos, encontramos

$$r(x) = a + \frac{b-a}{L}\,x$$

que, realmente, para $x = 0$ fornece $r = a$ enquanto que para $x = L$ fornece $r = b$. Substituindo este valor de r na expressão acima para o campo temos

$$E(x) = \frac{i\,\rho}{\pi}\Big[a + \frac{b-a}{L}\,x\Big]^{-2}.$$

A diferença de potencial é então dada por

$$\begin{aligned}V &= -\int_0^L E(x)\,dx \\ &= -\frac{i\,\rho}{\pi}\int_0^L \Big[a + \frac{b-a}{L}\,x\Big]^{-2}\,dx\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{i\,\rho}{\pi}\frac{L}{b-a}\left[a+\frac{b-a}{L}\,x\right]^{-1}\Big|_0^L \\ &= \frac{i\,\rho}{\pi}\frac{L}{b-a}\left[\frac{1}{a}-\frac{1}{b}\right] \\ &= \frac{i\,\rho}{\pi}\frac{L}{b-a}\frac{b-a}{ab} \\ &= \frac{i\,\rho L}{\pi ab}. \end{aligned}$$

Com isto tudo, segue facilmente que a resistência é

$$R = \frac{V}{i} = \frac{\rho L}{\pi ab}.$$

(b) Para $b = a$ temos

$$R = \frac{\rho L}{\pi a^2} = \frac{\rho\, L}{A},$$

onde $A = \pi a^2$ é a área do cilindro ao qual o cone se reduz, coincidindo neste caso com a Eq. 28-15 da pag. 119, como era de se esperar.

28.2.4 Energia e potência em circuitos elétricos

E 28-44.

Um estudande deixou seu rádio portátil de 9 V e 7 W ligado das 9 horas às 14 horas. Que quantidade de carga passou através dele?

▶ A corrente que circulou no rádio era de

$$i = \frac{P}{V} = \frac{7}{9} = 0.78 \text{ Ampères}.$$

Portanto, a quantidade de carga que passou através do radio em 5 horas é

$$q = it = \frac{7}{9}\,(5\times 3600 \text{ segundos}) = 14 \text{ kCoulombs}.$$

E 28-45.

Um determinado tubo de raios-X opera na corrente de 7 mA e na diferença de potencial de 80 kV. Que potência em Watts é dissipada?

▶ A potência dissipada pelo tubo de raios-X é

$$P = i\,V = 7\times 10^{-3}\times(80\times 10^3) = 560 \text{ W}.$$

E 28-46.

A taxa de dissipação de energia térmica num resistor é igual a 100 W quando a corrente é de 3 A. Qual é o valor da resistência envolvida?

▶ Da fórmula $P = i^2 R$ obtemos que a resistência envolvida é

$$R = \frac{P}{i^2} = \frac{100}{3^2} = 11.11\ \Omega.$$

E 28-48.

Uma diferença de potencial de 120 V é aplicada a um aquecedor cuja resistência é de 14 Ω, quando quente. **(a)** A que taxa a energia elétrica é transformada em calor? **(b)** A 5 centavos por kW·h, quanto custa para operar esse dispositivo durante 5 horas?

▶ *(a)* A taxa de transformação de energia elétrica em calor é

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{120^2}{14} = 1028 \text{ W} \simeq 1 \text{ kW}.$$

(b) o custo de operação do dispositivo é

$$\begin{aligned} \text{Custo} &= 1 \text{ kW}\times 5 \text{ horas}\times\frac{5 \text{ centavos}}{\text{kW·hora}} \\ &= 25 \text{ centavos}. \end{aligned}$$

P 28-56.

Um aquecedor de 1250 W é cosntruido para operar sob uma tensão de 115 V. **(a)** Qual será a corrente no aquecedor? **(b)** Qual é a resistência da bobina de aquecimento? **(c)** Que quantidade de energia térmica é gerada pelo aquecedor em 1 hora?

▶ *(a)* A corrente no aquecedor é

$$i = \frac{P}{V} = \frac{1250}{115} = 10.87 \text{ A}.$$

(b) A resistência da bobina de aquecimento é

$$\begin{aligned} R = \frac{V}{i} &= \frac{115}{10.87} = 10.58\ \Omega; \\ R = \frac{P}{i^2} &= \frac{1250}{(1250/115)^2} = \frac{115^2}{1250} = \frac{V^2}{P} \\ &= 10.58\ \Omega. \end{aligned}$$

(c) A quantidade de energia térmica gerada é

$$E = P\,t = 1250\times 3600 = 4.5\times 10^6 \text{ J}.$$

P 28-58.

Um aquecedor de Nicromo dissipa 500 W quando a diferença de potencial aplicada é de 110 V e a temperatura do fio é 800^o C. Qual será o valor da potência dissipada se a temperatura do fio for mantida em 200^o C pela imersão num banho de óleo? A diferença de potencial permanece a mesma e o valor de α para o Nicromo a 800^o C é $4 \times 10^{-4}/\,^o$C.

▶ Seja R_H a resistência na temperatura mais alta (800^o) e seja R_L a resistência na temperatura mais baixa (200^o). Como a ddp é a mesma para as duas temperaturas, a potência dissipada na temperatura mais baixa é $P_L = V^2/R_L$ e, analogamente, $P_H = V^2/R_H$. Mas $R_L = R_H + \alpha R_H \Delta T$, onde $\Delta T = T_L - T_H = -600^o$. Portanto

$$\begin{aligned} P_L &= \frac{R_H}{R_H + \alpha R_H \Delta T} P_H = \frac{P_H}{1 + \alpha \Delta T} \\ &= \frac{500}{1 + (4 \times 10^{-4})(-600)} = 660 \text{ W}. \end{aligned}$$

P 28-60.

Um acelerador linear produz um feixe pulsado de elétrons. A corrente do pulso é de 0.5 A e a sua duração é de 0.10 μs. **(a)** Quantos elétrons são acelerados por pulso? **(b)** Qual é a corrente média de uma máquina operando a 500 pulsos por segundo? **(c)** Se os elétrons forem acelerados até uma energia de 50 MeV, quais serão as potências média e de pico desse acelerador?

▶ *(a)* A carga q acelerada em cada pulso é dada por $q = it = 0.5 \times (0.1 \times 10^{-6}) = 5 \times 10^{-8}$ C. Portanto, o número N de elétrons acelerados é

$$\begin{aligned} N &= \frac{q}{e} = \frac{i\,t}{e} \\ &= \frac{5 \times 10^{-8} \text{ C}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ C}} \\ &= 3.125 \times 10^{11} \text{ elétrons.} \end{aligned}$$

(b) A carga total que passa numa secção qualquer do feixe durante um intervalo de tempo τ é $Q = nq\tau$, onde n é o número de pulsos por unidade de tempo e q é a carga em cada pulso. Assim, a corrrente média i_m por pulso é

$$i_m = \frac{Q}{\tau} = n\,q = (500\ s^{-1})(5 \times 10^{-8} \text{ C}) = 25\ \mu\text{A}.$$

(c) A voltagem aceleradora é $V = K/e$, onde K é a energia cinética final de um elétron. Portanto

$$V = \frac{K}{e} = \frac{50 \text{ MeV}}{1e} = 50 \text{ M Volts.}$$

Com isto, a potência por pulso é

$$P = iV = 0.5 \times (50 \times 10^6) = 25 \text{ MW},$$

que é a potência de pico. A potência média por pulso (i.e. por segundo) é

$$\begin{aligned} P_m = i_m\,V &= 25 \times 10^{-6} \times 50 \times 10^6 \\ &= 1250 \text{ W} \simeq 1.3 \text{ kW}. \end{aligned}$$