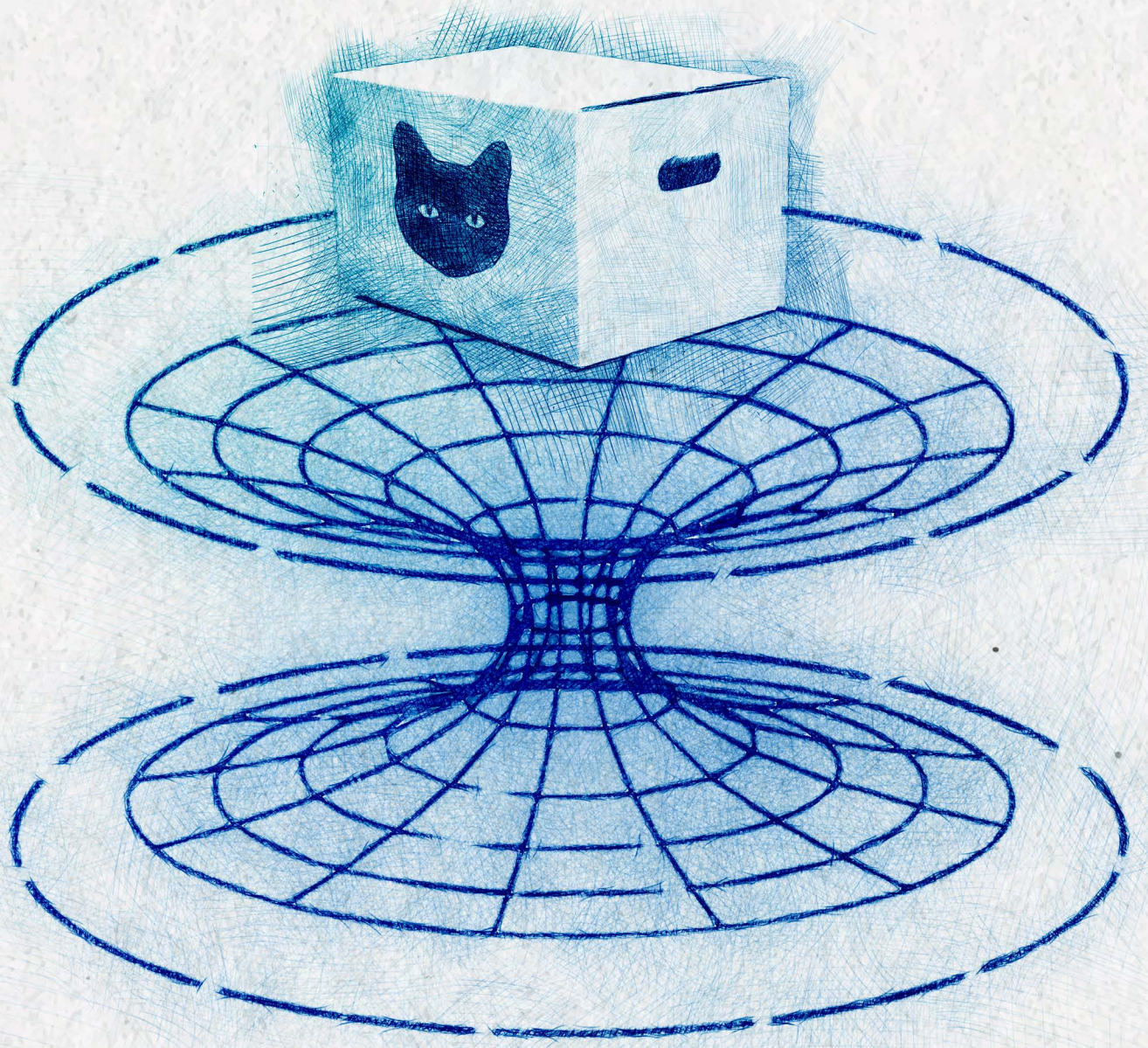


FÍSICA

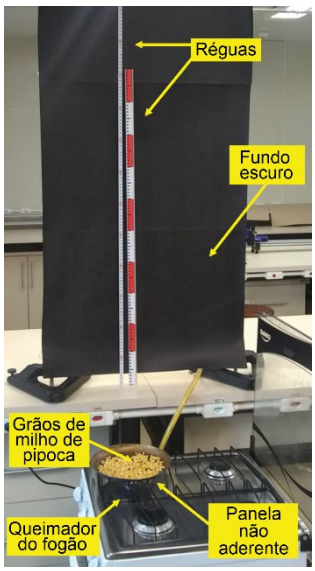
Homenagem visual à área de Física, com o esboço de um buraco de minhoca e uma representação do gato de Schrödinger.

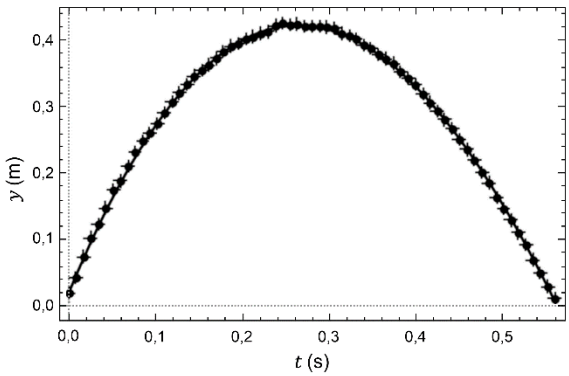
fuvest vencerás pela educação

Física

Questão 01

Um artigo publicado na *Revista Brasileira de Ensino de Física*, em 2024, propõe um curioso experimento para medir a força de arrasto do ar em pipocas em movimento vertical. Para isso, os autores prepararam um sistema automatizado que mede a posição vertical y (m) em função do tempo t (s) de pipocas em voo após serem "estouradas" em uma panela aberta, como mostra a figura ao lado. O gráfico y *versus* t de um dos "voos" medidos também é exibido.





a) Com base no gráfico y *versus* t, determine o deslocamento vertical máximo da pipoca nesse "voo".
b) Se a velocidade inicial da pipoca medida pelo experimento é de 3 m/s na vertical, qual seria o deslocamento vertical máximo na ausência de forças de arrasto e outras forças dissipativas?

Uma das conclusões do artigo é que a força de arrasto em uma pipoca típica pode ser modelada pela expressão $F_{arr} = -bv^2$, onde v é o módulo da velocidade da pipoca, o sinal "-" indica que a força é sempre contrária ao movimento e a constante b pode ser estimada pelas medidas do experimento como $b \cong 0{,}4$ g/m para velocidades acima de 2 m/s.

c) Com base nessa expressão, qual é a velocidade máxima que uma pipoca de massa 0,2 g atinge após começar o seu movimento de queda vertical com velocidade inicial nula?

Note e adote:
Aceleração da gravidade: g = 10 m/s^2

Resolução

a) Pelo gráfico, podemos considerar que o deslocamento vertical máximo é de $\Delta y = y_{max} - y_0 \cong 0{,}42 - 0{,}02 = 0{,}4$ m.

b) Sendo $v_{0y} = 3$ m/s, o deslocamento máximo na ausência de arrasto seria dado por $\Delta y = y_{max} - y_0 = \frac{v_{0y}^2}{2g} = \frac{9}{20} = 0{,}45$ m.

c) Para a velocidade terminal, temos $mg = bv^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{mg}{b}} = \sqrt{\frac{0{,}2 \,.10}{0{,}4}} = \sqrt{5}$ m/s.

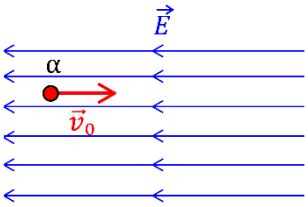
Física

Questão 02

Um dos decaimentos radioativos mais relevantes é o decaimento alfa (α), em que um núcleo pesado, como Polônio 210 ou Urânio 235, decai emitindo uma partícula α, que é essencialmente um núcleo de Hélio formado por 2 prótons e 2 nêutrons. Como são partículas eletricamente carregadas, as partículas α podem ser aceleradas/desaceleradas por campos elétricos e/ou magnéticos. Por conta disso, embora sejam emitidas com energias da ordem de MeV, as partículas α perdem (transferem) grande parte dessa energia ao interagir com moléculas e átomos, seja no ar ou em tecidos biológicos.
Nos itens a seguir, considere uma partícula α que foi emitida com energia cinética inicial de 5,30 MeV.

a) Se a partícula α perde energia a uma taxa de 100 keV/μm ao penetrar um tecido biológico como a pele, ela conseguiria atravessar a epiderme, que tem espessura de 0,1 mm? Justifique a sua resposta.

Considere uma situação em que a partícula α está se movendo sob a ação de um campo elétrico uniforme na mesma direção e em sentido oposto à sua velocidade, conforme mostra a figura:



b) Se o campo elétrico tem módulo de 2 x 10^5 V/m, determine a magnitude da força elétrica que atua sobre a partícula α.
c) Qual a magnitude do campo elétrico necessária para que a partícula α perca 1% de sua energia cinética inicial após percorrer 10 cm sob a ação desse campo?

Note e adote:
Carga do próton: q_P = +1,6 x 10^{-19} C
1 eV = 1,6×10^{-19} J

Resolução

a) Se a partícula perde 100 keV/micron = 0,1 MeV/micron, então ela perderia toda a sua energia em 5,3/0,1 = 53 microns = $5{,}3 \times 10^{-5}\ \mathrm{m} = 0{,}053$ mm, de modo que não conseguiria penetrar na epiderme.

Resposta alternativa:

Se a partícula perde 100 keV/micron = 0,1 MeV/micron e a epiderme mede $0{,}1\ \mathrm{mm} = 10^{-4}\mathrm{m} = 100\ \mu\mathrm{m}$, então a energia minima necessária para atravessar a epiderme seria $E_{\min} = 0{,}1\,.\,100 = 10\ \mathrm{MeV} > 5{,}3\ \mathrm{MeV}$. Logo, a partícula α não conseguiria atravessar a epiderme.

b) A magnitude da força elétrica atuando sobre a partícula alfa será:

$$F_e = 2\ q_P.E = 3{,}2 \times 10^{-19}.2 \times 10^5 = 6{,}4\ \times 10^{-14}\ \mathrm{N}$$

c) O trabalho da força atuando sobre a partícula alfa será negativo e igual a 1% de 5,3 MeV

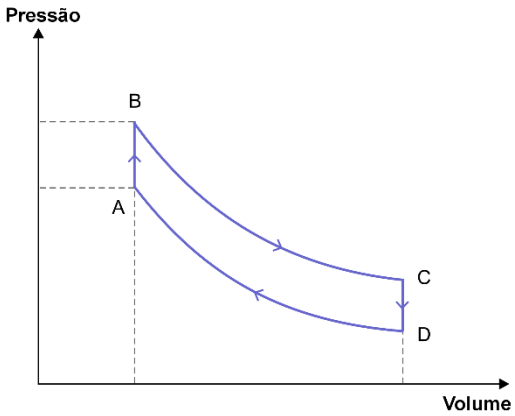
$$W = -F_e d = -0{,}053\ \mathrm{MeV} \Rightarrow 2\ q_P.E.d = 5{,}3\ \times 10^{+4}\ \mathrm{eV}$$
$$E = \frac{5{,}3}{2} \times 10^{+5}\ \mathrm{V/m}$$

Logo, $E = 2{,}65\ \times 10^{+5}\ \mathrm{V/m}$.

Física

Questão 03

Proposto por Robert Stirling em 1816, o motor de Stirling, aplicado em conjunto com coletores solares de disco parabólico, tem sido utilizado na geração de energia elétrica a partir da energia solar. Dessa forma, ele oferece não apenas uma solução eficiente e sustentável à demanda energética, mas também reduzindo perdas na transmissão e impactos ambientais em relação a grandes usinas convencionais. O funcionamento desse motor compreende quatro etapas: aquecimento isovolumétrico, expansão isotérmica, resfriamento isovolumétrico e compressão isotérmica de um gás (assumido como ideal), conforme a figura a seguir.



Considerando os processos termodinâmicos mostrados na figura (A-B, B-C, C-D, D-A), responda:

a) Qual dos processos descreve a compressão isotérmica do ciclo de Stirling? Justifique a sua resposta.
b) Em qual(is) dos processos, o sistema recebeu calor da fonte quente? Justifique a sua resposta.
c) Coletores solares parabólicos apresentam taxa de conversão de energia solar em energia elétrica de, aproximadamente, 30%, com geração de potência elétrica em torno de 15 kW. Nessas condições, estime o valor da energia solar média (em joules) transferida ao coletor durante 1 hora.

Resolução

a) A compressão isotérmica corresponde à etapa D-A.

b) O sistema recebeu calor durante as etapas A-B (por aumento de temperatura/energia interna e sem realização de trabalho) e B-C (sem variação de temperatura/energia interna e com realização de trabalho).

c) A taxa de conversão r é dada pela razão entre a potência elétrica P_{el} convertida e a potência solar fornecida P_{sol}. Neste caso, temos $P_{sol} = P_{el} / r = 50$ kW. Uma vez que a potência relaciona-se com o trabalho médio por unidade de tempo, a energia solar média transferida durante 1 hora (3600 s) vale $\Delta E_{sol} = 50 . 10^3 . 3600 = 300.60.10^4 = 1{,}8.10^8$ J.

Física

Questão 04

O Homem-Aranha está na parede do 7º andar de um prédio olhando a vizinhança. Ele observa uma pessoa que está parada no canteiro central e corre risco de ser atropelada. Imediatamente, o super-herói lança uma teia em um poste e segue na direção dela para salvá-la. Ele pega a pessoa no ponto mais baixo da sua trajetória. Os dois continuam juntos até uma altura máxima e voltam.

Uma professora de Física, ao observar a cena, tenta estimar algumas informações do movimento. Ela assume que:

(i) o movimento pendular é bidimensional;

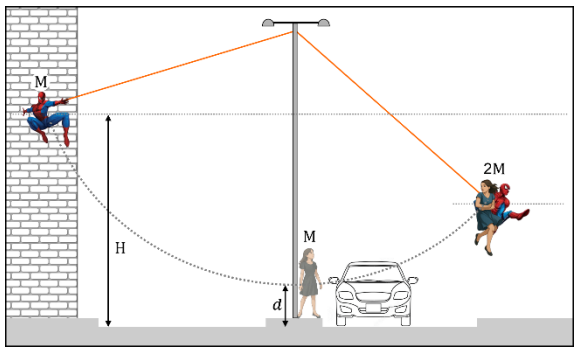
(ii) a altura inicial do Homem-Aranha é de H = 21 m do chão, pois cada andar tem cerca de 3 m de altura;

(iii) a velocidade inicial do Homem-Aranha, ao deixar o prédio, é zero, pois ele simplesmente se deixou cair, sem dar nenhum impulso na parede do prédio;

(iv) ele pegou a pessoa quando estava a d = 1 m do chão;

(v) houve perda de energia quando ele pegou a pessoa, devido à colisão perfeitamente inelástica; e

(vi) a pessoa e ele têm aproximadamente a mesma massa, M = 60 kg.



A figura ao lado ilustra esquematicamente o movimento descrito.

Utilizando as informações assumidas pela professora, responda:

a) Qual a velocidade do Homem-Aranha quando ele pega a pessoa?

b) Qual a razão entre as velocidades imediatamente *depois* (v_{depois}) e *antes* (v_{antes}) de o Homem-Aranha pegar a pessoa (v_{depois} / v_{antes})?

c) Qual o valor da máxima altura do movimento do Homem-Aranha e da pessoa, juntos, em relação ao chão?

Note e adote:
Aceleração da gravidade: g = 10 m/s^2

Resolução

a) Considerando que o ponto mais baixo da trajetória está a 1 m do chão, vamos colocar o referencial do movimento nesta altura. A energia inicial do Homem-Aranha é $E_0 = Mgh_0 + (1/2)Mv_0^2$, onde a altura inicial h_o = 20 m, a velocidade inicial v_0 = 0 m/s (suposição (iii) da professora) e massa M, portanto $E_0 = Mgh_0$. Sendo o movimento conservativo (movimento pendular bidimensional), no mínimo da trajetória ($E_0 = E_a = (1/2)Mv_a^2$) toda a energia potencial inicial foi transformada em energia cinética. Assim, $v_a^2 = 2gh_0 = 2x10x20 = 400 \Rightarrow v_a = 20$ m/s.

b) Considerando a colisão perfeitamente inelástica, há conservação de momento linear ($p_a = p_d$), mas não de energia. Assim, o momento linear antes da colisão é apenas o do Homem-Aranha, pois a pessoa está parada, $p_a = Mv_i$, e, depois da colisão, os dois, de mesma massa, movimentam-se juntos com a mesma velocidade, $p_d = (M+M)v_d = 2Mv_d$. Então, $Mv_a = (M+M)v_d \Rightarrow v_a = 2v_d \Rightarrow v_d/v_a = 0{,}5$.

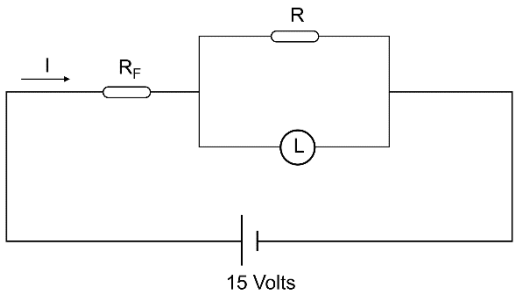
c) Após a colisão, o movimento continua conservativo, considerando agora as duas pessoas juntas de massa total 2M, então toda a energia cinética após a colisão, $E_d = (1/2)2Mv_d^2 = Mv_d^2 = Mv_a^2/4 = M(gh_0/2)$, transforma-se em energia potencial no máximo da trajetória, $E_m = 2Mgh_m$. Assim, $E_d = E_m \Rightarrow Mgh_0/2 = 2Mgh_m$. Então, $h_m = h_0/4 = 20/4 = 5$ m. Desse modo, a altura máxima é de 5 m no referencial do mínimo da trajetória. Porém, no referencial do chão, a altura máxima é de 6 m.

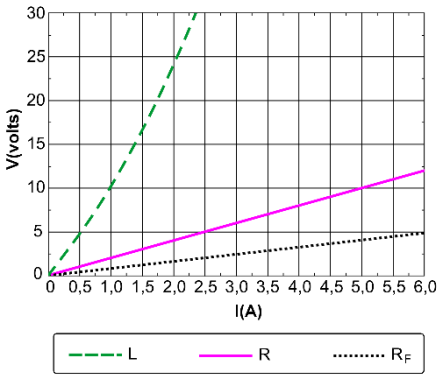
Física

Questão 05

Resistores e fusíveis desempenham papéis fundamentais em circuitos eletrônicos. Enquanto os resistores controlam a passagem da corrente elétrica ou são utilizados para conversão de energia elétrica em térmica, os fusíveis cortam a corrente quando ela ultrapassa certo limite, evitando assim danos e acidentes.

Um estudante montou o circuito eletrônico formado por um resistor, uma lâmpada e um fusível, com resistência R, L e R_F, respectivamente, e curvas características mostradas a seguir.





a) Determine o valor da resistência elétrica (em Ω) do resistor R.
b) Sabendo que o fusível suporta uma corrente máxima de I = 6 A para que não queime, calcule o valor da ddp mínima sobre os componentes associados em paralelo.
c) Obtenha a resistência equivalente do circuito para uma corrente I = 6 A.

Note e adote:
Considere que a lâmpada se comporta como elemento ômico para correntes de até 1,25 A.

Resolução

a) Do gráfico, podemos extrair a resistência fazendo $R = \frac{\Delta V}{\Delta I}$. Das curvas para o resistor, R=2 Ω.

b) Da curva característica do fusível, obtemos $R_F = \frac{\Delta V}{\Delta I} = \frac{5}{6}\ \Omega$. Logo, a variação de tensão (ddp) no fusível quando I = 6 A será de $V_F = \frac{5}{6}6 = 5\ \text{V}$. Como a ddp do circuito vale 15 Volts, a ddp na parte do circuito em paralelo será

$$V_{\text{par}} = 15 - V_F = 10\ \text{V}$$

c) Se a corrente total é $I_{tot} = 6\ \text{A}$ e a ddp no circuito é 15 V, então

$$R_{equiv} = \frac{15}{6} = \frac{5}{2}\ \Omega$$

Reposta alternativa:

Do gráfico, extraímos $I_L = 0{,}5\ \text{A}$ para $V_L = 5$ Volts. Sendo a lâmpada aproximadamente ôhmica neste regime, temos $R_L = \frac{5}{0{,}5} = 10\ \Omega$. Logo, a resistência equivalente do circuito paralelo será

$$\frac{1}{R_{\text{par}}} = \frac{1}{R_L} + \frac{1}{R} = \frac{1}{10} + \frac{1}{2} = \frac{3}{5} \Rightarrow R_{\text{par}} = \frac{5}{3}\ \Omega$$

A resistência equivalente do circuito será

$$R_{equiv} = R_{\text{par}} + R_F = \frac{5}{3} + \frac{5}{6} = \frac{5}{2}\ \Omega$$

Física

Questão 06

A Terra recebe energia do Sol principalmente na forma de luz visível, que abrange comprimentos de onda na faixa de 400 nm (cor violeta) até 800 nm (cor vermelha), os quais são percebidos como as cores do arco-íris.

Sabendo que, na região da luz visível, a irradiância espectral da luz do Sol, no nível do mar, é aproximadamente constante, com o valor de 1,2 W/(m^2 nm), e que cerca de 5/6 dessa luz solar é absorvida pela água do mar, responda:

a) Qual a cor da luz solar do espectro visível que terá maior potência por área no nível do mar? Justifique a sua resposta.
b) Qual a variação de temperatura que a luz vermelha de 800 nm provoca quando incide durante 1 h na área de 1 m^2 em uma faixa de 20 cm de profundidade de água do mar?

Considerando o caráter corpuscular da luz, sabe-se que cada fóton tem energia relacionada à constante de Planck (h), à velocidade da luz (c) e ao comprimento de onda da luz (λ), ou seja, E = hc/λ. Com base nessas informações, responda:

c) Quantos fótons da luz vermelha de 800 nm atingirão essa área de 1 m^2 da água do mar em 1 s?

Note e adote:
Irradiância espectral da luz é uma grandeza física definida pela potência da luz por área, dividida pelo comprimento de onda da luz (λ), ou seja, I_r = P/(A·λ).
Considere que o produto da constante de Planck pela velocidade da luz (hc) é igual a 2×10^{-16} J·nm, a densidade da água do mar é 1000 kg/m^3 e o calor específico da água do mar é 4 J/g·°C.
Assuma também que toda a energia absorvida pela água do mar é convertida em calor.

Resolução

a) Usando a definição da irradiância, temos que a potência P/A = I_r λ. Como a irradiância é aproximadamente constante, a maior potência será da cor com maior comprimento de onda, ou seja, a cor vermelha.

b) A energia absorvida pela água do mar será 5/6 da energia solar, ou seja:

$$E_{abs} = \frac{5}{6}.I.A.\lambda.\Delta t = \frac{5}{6}.1{,}2.1.800.3600 = 2{,}88\,.10^6\ \text{J}$$

Se toda a energia for absorvida pela água do mar, a quantidade de calor Q = m C ΔT será a quantidade de energia passada da luz para a água.

Usando a densidade de 1000 kg/m^3, temos uma massa de m = 200 kg = 2 x 10^5 g em um volume de 0,2 m^3 (=1mx1mx0,2m) de água do mar. Logo,

$$Q = E_{abs} = 2.10^5.4.\Delta T \Rightarrow \Delta T = \frac{288\,.10^4}{80.10^4} = 3{,}6^oC$$

c) A energia do fóton da luz vermelha é E = hc/$\lambda_{vermelho}$ = 6,6 x 10^{-34} x 3 x 10^8 / 800 x 10^{-9} = 2,5 x 10^{-19} J.

$$E_{\text{fóton}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{vermelho}}} = \frac{2.10^{-16}}{800} = 2{,}5.10^{-19}\ \text{J}$$

A potência P = I_r λ = 1,2 x 800 = 960 W/m^2 = 960 J/s.m^2 = N_{fotons} E_{foton} / (Δt x área), onde Δt = 1s e área = 1 m^2.

Assim,

$$N_{fotons} = \frac{960}{2{,}5.10^{-19}} = 960.\frac{2}{5}.10^{19} = 384.10^{19} = 3{,}84.10^{21} \approx 4.10^{21}$$

Logo, cerca de 4 x 10^{21} fótons de luz vermelha de 800 nm atingirão uma área de 1 m^2 em 1 segundo na superfície da Terra.