

2a. Lista de Exercícios - Física 4

Relatividade

37.28 Quando você deve usar a relatividade? Como você viu, os cálculos relativísticos costumam envolver a grandeza γ . Quando γ é significativamente maior do que um, devemos usar fórmulas relativísticas em vez de newtonianas. Em que velocidade v (em termos de c) o valor de γ é a) 1,0% maior do que um; b) 10% maior do que um; c) 100% maior do que um?

37.29 a) Para qual valor da velocidade o momento linear de uma partícula é igual ao dobro do valor da expressão não-relativística mv ? Expresse sua resposta em termos da velocidade da luz. b) Uma força é aplicada a uma partícula ao longo da mesma direção de seu movimento. Para qual velocidade a força necessária para produzir uma dada aceleração é duas vezes maior do que a força necessária para produzir a mesma aceleração quando a partícula está em repouso? Expresse sua resposta em termos da velocidade da luz.

37.31 Qual é a velocidade de uma partícula cuja energia cinética é a) igual a sua energia de repouso? b) cinco vezes maior do que o valor de sua energia de repouso?

37.35 a) Em que porcentagem a sua massa de repouso aumenta quando você sobe 30 m até o topo de um edifício de dez andares? Você percebe esse aumento? Explique. b) Em quantos gramas a massa de uma mola de 12,0 g com uma constante de 200 N/cm varia quando você a comprime em 6,0 cm? A massa aumenta ou diminui? Você notaria a variação na massa, se estivesse segurando a mola? Explique.

37.37 Reator antimatéria. Quando uma partícula encontra a sua antipartícula, elas aniquilam uma ou outra e sua massa é convertida em energia luminosa. Os Estados Unidos consomem aproximadamente $1,0 \times 10^{19}$ J de energia por ano. a) Se toda essa energia viesse de um reator antimatéria futurista, que massa de combustível de matéria e antimatéria seria consumida anualmente? b) Se esse combustível tivesse a densidade do ferro ($7,86 \text{ g/cm}^3$) e estivesse empilhado em tijolos formando um cubo, que altura esse cubo teria? (Antes de você ficar muito animado, lembre que reatores antimatéria estão bem distantes no futuro — se é que um dia existirão.)

37.46 Energia da fusão. Em um reator de fusão nuclear hipotético, dois núcleos de deutério se combinam, ou se 'fundem', formando um núcleo do átomo de hélio. A massa do núcleo de deutério, expressa em unidades de massa atômica (u), é igual a 2,0136 u e a do núcleo do átomo de hélio é igual a 4,0015 u ($1 u = 1,6605402 \times 10^{-27}$ kg). a) Qual é a quantidade de energia liberada quando 1,0 kg de deutério sofre fusão? b) O consumo anual de energia nos Estados Unidos é aproximadamente igual a $1,0 \times 10^{19}$ J. Qual é a quantidade de deutério que deve reagir para produzir essa quantidade de energia?

37.55 O Grande Colisor de Hádrons (LHC). Físicos e engenheiros do mundo todo se juntaram para construir o maior acelerador do mundo, o Grande Colisor de Hádrons (*Large Hadron Collider* — LHC) nos laboratórios da CERN em Geneve, Suíça. O aparelho irá acelerar prótons a energias cinéticas de 7 TeV em um anel subterrâneo de 27 km de circunferência. (Leia as últimas notícias e informações sobre o LHC no site www.cern.ch.) a) Com que velocidade os prótons chegarão ao LHC? (Como o valor de v é muito próximo do valor de c , use $v = (1 - \Delta)c$ e encontre a sua resposta em termos de Δ .) b) Encontre a massa relativística, m_{rel} dos prótons acelerados em termos de sua massa de repouso.

37.58 Um fóton com energia E é emitido por um átomo de massa m que recua em sentido contrário. a) Supondo que o movimento do átomo possa ser tratado de modo não-relativístico, calcule a velocidade de recuo do átomo. b) De acordo com o resultado do item (a), mostre que a velocidade de recuo é muito menor do que c quando E é muito menor do que a energia de repouso mc^2 do átomo.

37.59 Em uma experiência, dois prótons são lançados diretamente um contra o outro, cada um se deslocando com a metade da velocidade da luz em relação ao laboratório. a) Que velocidade tem um próton em relação ao outro? b) Qual seria a resposta à parte (a) se usássemos apenas mecânica newtoniana não-relativística? c) Qual é a energia cinética de cada próton em relação a (i) um observador em repouso no laboratório e (ii) um observador se deslocando junto com um dos prótons? d) Quais seriam as respostas à parte (c) se usássemos apenas mecânica newtoniana não-relativística?

37.63 Uma partícula de massa m acelerada por uma força constante F , de acordo com a mecânica newtoniana, deve continuar a ser acelerada indefinidamente. Ou seja, quando $t \rightarrow \infty$, $v \rightarrow \infty$. Mostre que, de acordo com a mecânica relativística, a velocidade da partícula tende a c quando $t \rightarrow \infty$ (Nota: uma integral útil é $\int (1 - x^2)^{-3/2} dx = x/\sqrt{1 - x^2}$.)

32.28 Nos laboratórios de simulação espacial da Nasa, existe uma sala de 25 pés de comprimento (aproximadamente igual a 7,6 m), na qual um conjunto de lâmpadas produz no piso do laboratório uma intensidade de 2500 W/m^2 (uma simulação equivalente à intensidade da luz solar nas vizinhanças do planeta Vênus). Calcule a pressão da radiação média (em pascals e em atmosferas) sobre (a) uma seção totalmente absorvedora do piso do laboratório; (b) uma seção totalmente refletora do piso do laboratório. (c) Calcule a densidade do momento linear médio (momento linear por unidade de volume) da luz que atinge o piso do laboratório.

32.46 O plano de uma superfície é perpendicular à direção de propagação de um feixe de ondas eletromagnéticas com intensidade I . A superfície absorve uma fração w da intensidade incidente, sendo $0 \leq w \leq 1$, e reflete a parte restante. (a) Mostre que a pressão da radiação sobre a superfície é dada por $(2 - w)I/c$. (b) Mostre que o resultado precedente fornece a expressão correta para uma superfície (i) totalmente absorvedora; (ii) totalmente refletora. (c) Para uma intensidade incidente de $1,40 \text{ kW/m}^2$, qual é a pressão da radiação quando ocorre uma absorção de 90%? E quando ocorre uma reflexão de 90%?

Fótons, Elétrons e Átomos

38.42 Determine λ_m , o comprimento de onda do pico da distribuição de Planck, e a frequência f correspondente nas seguintes temperaturas: a) 3,0 K; b) 300 K; c) 3000 K.

38.77 a) Escreva a lei da distribuição de Planck em termos da frequência f em vez do comprimento de onda λ para obter $I(f)$.
b) Mostre que

$$\int_0^{\infty} I(\lambda) d\lambda = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} T^4$$

em que $I(\lambda)$ é a fórmula da distribuição de Planck da Equação (38.32). (*Sugestão:* troque a variável de integração de λ para f). Você precisará usar a seguinte integral obtida em tabelas:

$$\int_0^{\infty} \frac{x^3}{e^{\alpha x} - 1} dx = \frac{1}{240} \left(\frac{2\pi}{\alpha} \right)^4$$

c) O resultado do item (b) é I , que possui a forma da lei de Stefan-Boltzmann, $I = \sigma T^4$, indicada na Equação (38.28). Calcule a constante obtida no item (b) para mostrar que σ possui o valor dado na Seção 38.8.

38.4 Um laser usado para soldar retinas descoladas emite luz com comprimento de onda igual a 652 nm através de pulsos que duram 20,0 nm. A potência média durante cada pulso é igual a 0,6 W. a) Qual é a energia de cada pulso em joules? E em elétrons-volt? b) Qual é a energia de um fóton em joules? E em elétrons-volt? c) Quantos fótons são emitidos em cada pulso?

38.12 A função trabalho para o efeito fotoelétrico em uma superfície de potássio é 2,3 eV. Se uma luz com comprimento de onda igual a 250 nm incide sobre o potássio, calcule qual é a) o potencial de corte em volts; b) a energia cinética em elétrons-volt dos elétrons emitidos com maior energia; c) a velocidade desses elétrons.

38.13 Quando um feixe de luz ultravioleta de 254 nm incide sobre uma superfície polida de cobre, o potencial de corte necessário para impedir a emissão de fotoelétrons é igual a 0,181 V. a) Qual é o comprimento de onda de corte dessa superfície de cobre? b) Qual é a função trabalho dessa superfície, e como o valor que você obtém se compara ao fornecido na Tabela 38.1?

38.14 O momento linear de um fóton é $8,24 \times 10^{-28} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$. a) Qual é a energia desse fóton? Expresse a resposta em joules e em elétrons-volt. b) Qual é o comprimento de onda associado a esse fóton? Em que região do espectro eletromagnético ele está?

38.18 O diagrama de níveis de energia para o elemento hipotético *sears-zemanskium* é indicado na Figura 38.36. A energia potencial é igual a zero quando a distância entre o elétron e o núcleo é infinita. a) Qual é a energia necessária (em elétrons-volt) para ionizar um elétron a partir do nível fundamental? b) Um fóton de 18 eV é absorvido pelo átomo de *sears-zemanskium* em seu nível fundamental. Quando o átomo retorna para seu nível fundamental, quais são as energias possíveis para os fótons emitidos? c) O que ocorreria se um fóton de 8 eV colidisse com um átomo de *sears-zemanskium* em seu nível fundamental? Por quê? d) Fótons emitidos por um átomo de *sears-zemanskium* nas transições $n = 3 \rightarrow n = 2$ e $n = 3 \rightarrow n = 1$ produzem fotoelétrons quando incidem sobre um metal desconhecido; porém, os fótons emitidos na transição $n = 4 \rightarrow n = 3$ não produzem fotoelétrons. Qual é o intervalo de valores possíveis (o valor máximo e o mínimo) para a função trabalho desse metal desconhecido?

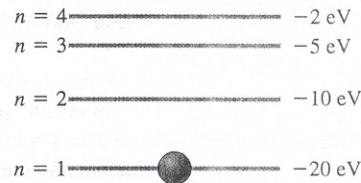


Figura 38.36 Exercício 38.18.

38.55 a) O comprimento de onda da luz que incide sobre uma superfície metálica se reduz de λ_1 para λ_2 (λ_1 e λ_2 são menores do que o comprimento de onda de corte para a superfície). Quando o comprimento de onda é reduzido desse modo, qual é a variação do potencial de corte para os fotoelétrons emitidos por essa superfície? b) Calcule a variação do potencial de corte para $\lambda_1 = 295 \text{ nm}$ e $\lambda_2 = 265 \text{ nm}$.

38.36 Raios X são produzidos em um tubo submetido a 18,0 kV. Depois de emergirem no tubo, os raios X que possuem um comprimento de onda mínimo atingem um alvo e sofrem um espalhamento Compton de um ângulo igual a $45,0^\circ$. a) Qual é o comprimento de onda do raio X original? b) Qual é o comprimento de onda do raio X espalhado? c) Qual é a energia (em elétrons-volt) dos raios X espalhados?

38.38 Um feixe de raios X de comprimento de onda igual a 0,05 nm sofre espalhamento Compton por elétrons em uma amostra. Qual deve ser o ângulo de observação em relação à direção do feixe incidente para que se possa encontrar raios X cujos comprimentos de onda sejam de: a) 0,0542 nm?; b) 0,0521 nm?; c) 0,05 nm?

38.41 Complete a dedução da fórmula do espalhamento Compton, Equação (38.23), seguindo os passos indicados da Equação (38.24) até a Equação (38.27).

38.74 Um fóton de raios X é espalhado por um elétron (massa m) em repouso. O comprimento de onda do fóton espalhado é λ' e a velocidade final do elétron é igual a v . a) Qual era o comprimento de onda λ inicial do fóton? Expresse sua resposta em termos de λ' , v e m . (*Sugestão:* use a expressão relativística para a energia cinética do elétron.) b) Através de qual ângulo ϕ o fóton é espalhado? Expresse sua resposta em termos de λ , λ' e m . c) Avalie seus resultados dos itens (a) e (b) para um comprimento de onda do fóton espalhado igual a $5,1 \times 10^{-3} \text{ nm}$ e para uma velocidade final do elétron igual a $1,8 \times 10^6 \text{ m/s}$. Forneça ϕ em graus.

38.76 a) Calcule o aumento máximo do comprimento de onda de um fóton que pode ocorrer durante um espalhamento Compton. b) Qual é a energia (em elétrons-volt) do fóton de raios X de menor energia em que o comprimento de onda dobra de valor durante um espalhamento Compton?

38.25 Um átomo de berílio triplamente ionizado Be^{3+} (um átomo de berílio que perdeu três elétrons) apresenta um comportamento semelhante ao do átomo de hidrogênio, a não ser pelo fato de ter uma carga nuclear quatro vezes maior do que a do hidrogênio. a) Qual é a energia do nível fundamental do berílio? Como ela se compara à energia do nível fundamental do átomo de hidrogênio? b) Qual é a energia de ionização do Be^{3+} ? Como ela se compara à energia de ionização do átomo de hidrogênio? c) Para o átomo de hidrogênio, o comprimento de onda do fóton emitido na transição $n = 2$ para $n = 1$ é igual a 122 nm (Exemplo 38.6, Seção 38.5). Qual é o comprimento de onda quando o íon Be^{3+} realiza a mesma transição? d) Para um dado valor de n , como se compara o raio da órbita do íon Be^{3+} ao raio da órbita do mesmo nível do átomo de hidrogênio?

38.27 a) Usando o modelo de Bohr, calcule a velocidade do elétron no átomo de hidrogênio para os níveis $n = 1, 2$ e 3 . b) Calcule o período orbital para cada um desses níveis. c) A vida média para o primeiro nível excitado do átomo de hidrogênio é $1,0 \times 10^{-8}$ s. No modelo de Bohr, quantas voltas completas o elétron daria no nível $n = 2$ antes de o elétron voltar para seu nível fundamental?

38.28 a) Mostre que, quando n se torna muito grande, os níveis de energia do átomo de hidrogênio se aproximam cada vez mais em energia. b) Os raios desses níveis de energia também se aproximam?

38.59 O múon negativo possui carga igual à do elétron, porém sua massa é 207 vezes maior. Considere um átomo semelhante ao átomo de hidrogênio constituído por um próton e um múon. a) Qual é a massa reduzida do átomo? b) Qual é a energia do nível fundamental (em elétrons-volt)? c) Qual é o comprimento de onda da radiação emitida na transição do nível $n = 2$ para o nível $n = 1$?

38.63 a) Qual é a menor quantidade de energia em elétrons-volt que deve ser fornecida a um átomo de hidrogênio que está inicialmente em seu nível fundamental, de modo que ele emita a linha $H\alpha$ da série de Balmer? b) Quantas possibilidades diferentes existem no espectro de linhas de emissão para esse átomo quando o elétron está inicialmente no nível $n = 3$ e por fim termina no nível fundamental? Calcule o comprimento de onda do fóton emitido em cada caso.

38.79 a) Mostre que, no modelo de Bohr, a frequência da revolução de um elétron em uma órbita circular estacionária em torno do núcleo do átomo de hidrogênio é dada por $f = me^4/4\epsilon_0^2 n^3 h^3$. b) Na física clássica, a frequência da revolução de um elétron é igual à frequência da radiação que ele emite. Mostre que, quando n é muito grande, a frequência da revolução é, na verdade, igual à frequência da radiação calculada pela Equação (38.6) para uma transição do nível $n_1 = n + 1$ até o nível $n_2 = n$. (Esse item ilustra o princípio de correspondência de Bohr, que é muito usado para conferir cálculos da mecânica quântica. Quando n é pequeno, a mecânica quântica fornece resultados muito diferentes dos obtidos pela física clássica. Quando n é grande, a diferença entre esses resultados é desprezível e os dois métodos são 'correspondentes'. De fato, quando Bohr estudou o problema do átomo de hidrogênio pela primeira vez, ele procurou determinar f em função de n , de modo a obter um resultado correspondente ao da física clássica para valores de n elevados.)

38.80 Considere um feixe de luz monocromática com intensidade I incidindo sobre uma superfície completamente absorvedora perpendicular à direção do feixe. Use o conceito de fóton para mostrar que a pressão da radiação exercida pela luz sobre a superfície é dada por I/c .

A Natureza Ondulatória das Partículas

39.6 a) Uma partícula não-relativística de massa m possui energia cinética K . Deduza uma expressão para o comprimento de onda de De Broglie da partícula em termos de m e K . b) Qual é o comprimento de onda de De Broglie de um elétron com 800 eV?

39.13 a) Com que velocidade aproximada um elétron deve se deslocar para ter um comprimento de onda que o torne útil para medir a distância entre átomos adjacentes em cristais comuns (cerca de 0,10 nm)? b) Qual é a energia cinética do elétron na parte (a)? c) Qual seria a energia de um fóton do mesmo comprimento de onda que o elétron na parte (b)? d) Quais partículas seriam sensores mais eficazes para estruturas de menor escala, elétrons ou fótons? Por quê?

39.16 Um feixe de elétrons de 188 eV incide perpendicularmente sobre a superfície de um cristal como indicado na Figura 39.4b. O máximo $m = 2$ ocorre para um ângulo $\theta = 60,6^\circ$. a) Qual é o espaçamento entre os átomos adjacentes na superfície? b) Em que ângulos ocorrem os demais máximos? c) Para que energia do elétron (em eV) o máximo $m = 1$ ocorre para um ângulo $\theta = 60,6^\circ$? Nessa energia existe o máximo $m = 2$? Explique.

39.22 a) A incerteza na medida da coordenada x da posição de um elétron é 0,20 nm. Qual é o componente x da velocidade v_x do elétron, sabendo que a porcentagem da incerteza mínima para medir simultaneamente a posição e a velocidade v_x é igual a 1,0%? b) Repita o item (a) para um próton.

39.24 a) A incerteza na medida da coordenada y da posição de um próton é igual a $2,0 \times 10^{-12}$ m. Qual é a incerteza mínima para se medir simultaneamente a posição e a componente y da velocidade do próton? b) A incerteza na medida da componente z da velocidade de um elétron é igual a 0,250 m/s. Qual é a incerteza mínima para medir simultaneamente a velocidade e a coordenada z do elétron?

39.26 Vida média de uma partícula. A partícula instável W^+ possui energia de repouso igual a 80,41 GeV ($1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$) e a incerteza na energia de repouso é 2,06 GeV. Estime a vida média de uma partícula W^+ .

39.46 Elétrons com velocidades elevadas são usados para sondar a estrutura dos núcleos dos átomos. Para tais elétrons a relação $\lambda = h/p$ continua válida, porém, devemos usar a expressão relativística para o momento linear, $p = mv/\sqrt{1 - v^2/c^2}$. a) Mostre que a velocidade de um elétron que possui o comprimento de onda de De Broglie λ é dada por

$$v = \frac{c}{\sqrt{1 + (mc\lambda/h)^2}}$$

b) A grandeza h/mc é igual a $2,426 \times 10^{-12}$ m. (Como vimos na Seção 38.7, essa mesma grandeza aparece na Equação (38.23), a expressão do espalhamento Compton de fótons por elétrons.) Se λ é pequeno em comparação com h/mc , o denominador da expressão encontrada no item (a) é aproximadamente igual a 1, e a velocidade v é aproximadamente igual a c . Nesse caso, é conveniente escrever $v = (1 - \Delta)c$ e expressar a velocidade do elétron em termos de Δ em vez de v . Encontre uma expressão para Δ válida quando $\lambda \ll h/mc$. (Sugestão: use a série binomial $(1 + z)^n = 1 + nz + n(n-1)z^2/2 + \dots$, válida para $|z| < 1$.) c) Qual deve ser a velocidade de um elétron para que seu comprimento de onda de De Broglie seja igual a $1,0 \times 10^{-15}$ m, comparável ao diâmetro de um próton? Expresse sua resposta na forma $v = (1 - \Delta)c$, dizendo quanto vale Δ .

39.47 a) Qual é o comprimento de onda de De Broglie de um elétron acelerado a partir do repouso por meio de um aumento de potencial igual a 125 V? b) Qual é o comprimento de onda de De Broglie de uma partícula alfa ($q = +2e$, $m = 6,64 \times 10^{-27}$ kg) acelerada a partir do repouso por meio de uma diminuição de potencial igual a 125 V?

39.48 Suponha que a incerteza na posição de um elétron seja igual ao raio da órbita $n = 1$ do modelo de Bohr do átomo de hidrogênio. Calcule a incerteza mínima na determinação do componente correspondente do momento linear e compare o resultado com o módulo do momento linear do elétron na órbita $n = 1$ do modelo de Bohr do átomo de hidrogênio. Discuta seus resultados.

39.52 No cinescópio de uma TV, a voltagem de aceleração é igual a 15,0 kV; o feixe de elétrons passa através de uma abertura de 0,50 mm de diâmetro e atinge uma tela situada a uma distância de 0,300 m da abertura. a) Calcule a incerteza no componente da velocidade do elétron perpendicular à reta entre a abertura e a tela. b) Qual é a incerteza na localização do ponto onde o elétron atinge a tela? c) O efeito da incerteza afeta significativamente a nitidez da imagem? (Use expressões não-relativísticas para o movimento dos elétrons. Isso fornece uma precisão bastante boa e certamente é adequado para a estimativa dos efeitos da incerteza.)

Relatividade

- 37.28** (a) $v = 0,140c$; (b) $v = 0,417c$; (c) $v = 0,866c$.
37.29 (a) $v = 0,866c$; (b) $v = 0,608c$.
37.31 (a) $c\sqrt{3}/2 = 0,866c$; (b) $0,986c$
37.35 (a) $3,3 \times 10^{-14} \%$; não; (b) $4,0 \times 10^{-16} \text{ kg}$; aumenta; não.
37.37 (a) $1,1 \times 10^2$; (b) $0,24 \text{ m}$.
37.55 (a) $v = (1 - 9 \times 10^{-9})c$; (b) $m_{rel} = 7 \times 10^3 m_0$.
37.58 (a) $v = E/(mc)$; (b) $v = E/(mc) \ll c \Rightarrow E \ll mc^2$
37.59 (a) $0,800c$; (b) $1,00c$; (c) i) $2,33 \times 10^{-11} \text{ J}$; ii) $1,0 \times 10^{-10} \text{ J}$; (d) i) $1,88 \times 10^{-11} \text{ J}$;
ii) $4,81 \times 10^{-11} \text{ J}$.
32.28 (a) $P_{rad} = 8,33 \times 10^{-6} \text{ Pa} = 8,23 \times 10^{-6} \text{ atm}$; (b) $P_{rad} = 1,67 \times 10^{-5} \text{ Pa} = 1,65 \times 10^{-10} \text{ atm}$; (c) $2,78 \times 10^{-14} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$.

Fótons, Elétron e Átomos

- 38.42** (a) $0,966 \text{ mm}$ (b) $9,66 \mu\text{m}$ (c) 966 nm
38.77 $5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$
38.4 (a) $1,2 \times 10^{-2} \text{ J} = 7,5 \times 10^{16} \text{ eV}$ (b) $3,05 \times 10^{-19} \text{ J} = 1,91 \text{ eV}$ (c) $3,93 \times 10^{16}$
fótons
38.12 (a) $2,7 \text{ eV}$ (b) $2,7 \text{ eV}$ (c) $9,7 \times 10^5 \text{ m/s}$
38.13 (a) 264 nm (b) $4,70 \text{ eV}$
38.14 (a) $1,54 \text{ eV}$ (b) 804 nm
38.18 (a) 20 eV (b) $3 \text{ eV}, 5 \text{ eV}, 8 \text{ eV}, 10 \text{ eV}, 15 \text{ eV}$ e 18 eV (c) não seria absorvido
(d) o valor está entre 3 eV e 5 eV
38.55 (a) $hc(\lambda_1 - \lambda_2)/(e\lambda_1\lambda_2)$ (b) $0,476 \text{ V}$
38.36 (a) $0,0691 \text{ nm}$ (b) $0,0698 \text{ nm}$ (c) $17,8 \text{ keV}$
38.38 (a) 137° (b) $82,3^\circ$ (c) 0°
38.74 (a) $\lambda = \frac{\lambda'}{1 + \frac{\lambda' mc}{h} \left[\frac{1}{(1 - v^2/c^2)^{1/2}} - 1 \right]}$ (b) $\phi = \arccos \left(1 - \frac{\Delta\lambda}{h/mc} \right)$
(c) $\lambda = 3,3410 \times 10^{-3} \text{ nm}$, $\phi = 74,0^\circ$.
38.76 (a) Para $\phi = 180^\circ$, $\Delta\lambda = 2\lambda_0 = 4,85 \text{ pm}$ (b) $0,256 \text{ MeV}$
38.25 (a) -218 eV , 16 vezes maior; (b) 218 eV , 16 vezes maior; (c) $7,63 \text{ nm}$; (d) $1/4$ maior
38.27 (a) $v_1 = 2,19 \times 10^6 \text{ m/s}$, $v_2 = 1,09 \times 10^6 \text{ m/s}$, $v_3 = 7,29 \times 10^5 \text{ m/s}$; (b) $T_1 = 1,52 \times 10^{-16}$,
 $T_2 = 1,22 \times 10^{-15}$, $T_3 = 4,10 \times 10^{-15}$; (c) $8,22 \times 10^6$
38.59 (a) $1,69 \times 10^{-28} \text{ kg}$; (b) $-2,53 \text{ KeV}$ (c) $0,653 \text{ nm}$
38.63 (a) $12,09 \text{ eV}$; (b) 3 possibilidades: $3 \rightarrow 2(656 \text{ nm})$, $3 \rightarrow 1(103 \text{ nm})$, $2 \rightarrow 1(122 \text{ nm})$
38.79 $f \approx \frac{me^4}{4\epsilon_0^2 n^3 h^3}$

A Natureza Ondulatória das Partículas

- 39.6** (a) $\lambda = \frac{h}{2Km}$ (b) $4,34 \times 10^{-11}$
39.13 (a) $7,3 \times 10^6 \text{ m/s}$; (b) 150 eV ; (c) 12 keV ; (d) elétrons
39.16 (a) $0,206 \text{ nm}$ (b) $25,8^\circ$ (c) $46,8 \text{ eV}$, não há máximo para $m=2$
39.22 (a) $v_x = 57,9 \text{ m/s}$ $v_x = 31,6 \text{ mm/s}$
39.24 (a) $\Delta v_x = 3,2 \times 10^4 \text{ m/s}$ $\Delta x = 4,6 \times 10^{-4} \text{ m}$
39.26 $3,0 \times 10^{-25} \text{ s}$
39.46 (c) $v = (1 - 8,50 \times 10^{-8})c$
39.47 (a) $1,10 \times 10^{-10}$; (b) $9,9 \times 10^{-13} \text{ m}$
39.48 $\Delta p_x = 2,0 \times 10^{-24} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$
39.52 (a) $\Delta v_y = 0,23 \text{ m/s}$ (b) $\Delta r = 9,56 \times 10^{-10}$ (c) não, o efeito é muito pequeno