

# 11ª Série de Problemas

## Mecânica e Ondas

### LEE + LEGI

1. A descoberta do bóson de Higgs (com, por exemplo, uma massa  $m_H=2 \times 10^{-25}$  kg e um tempo próprio de vida  $t_H=2 \times 10^{-24}$  s) seria uma autêntica revolução na Física de Partículas. Considere um bóson de Higgs com velocidade  $v_H=0.998c$  ( $\beta_H^2=0.996$ ) no referencial do laboratório.
  - a) Calcule no referencial do laboratório, o momento linear e a energia do bóson de Higgs. Compare com os valores obtidos no referencial do centro de massa (referencial do bóson de Higgs).
  - b) Determine no referencial do laboratório, a distância percorrida pelo bóson de Higgs antes de decair.
  - c) Suponha que o bóson de Higgs decai em dois fótons, emitidos ao longo da linha de voo do bóson. Determine, no referencial do centro de massa do Higgs, a energia dos fótons emitidos.
  - d) Determine no referencial de laboratório a energia dos fótons emitidos.
  - e) Verifique que poderia ter chegado ao resultado da alínea d) utilizando o efeito de Doppler.
2. A descoberta do  $J/\Psi$  em 1974 foi uma autêntica revolução na física de partículas, com a confirmação do modelo dos quarks – o  $J/\Psi$  é uma partícula formada por um quark c (charme) e o seu antiquark. O  $J/\Psi$  tem uma massa de aproximadamente  $66 \times 10^{-28}$  kg e um tempo de vida de cerca de  $5 \times 10^{-20}$  s. Considere um  $J/\Psi$  que no referencial do laboratório tem uma velocidade de  $0.9998c$ .
  - a) Calcule no referencial do laboratório, o momento linear e a energia do  $J/\Psi$ .
  - b) Determine, no referencial do laboratório, a distância percorrida pelo  $J/\Psi$  antes de decair.
  - c) Suponha que o  $J/\Psi$  decai num par electrão-positrão (electrão positivo). Que fracção da massa do  $J/\Psi$  desaparece no decaimento. Porquê? Determine, no referencial do CM do  $J/\Psi$  o momento linear do electrão resultante.
3. No Sol, são convertidas, por segundo, milhões de toneladas de hidrogénio e hélio, protões e energia através de reacções de fusão nuclear. Uma dessas reacções é descrita por
$${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^1\text{H} + {}^1\text{H}.$$
  - a) Sabendo que as massas do  ${}^3\text{He}$ , do  ${}^4\text{He}$  e do  ${}^1\text{H}$  são respectivamente  $5.008237 \times 10^{-27}$  kg,  $6.646483 \times 10^{-27}$  kg e  $1.673534 \times 10^{-27}$  kg, calcule a energia cinética libertada pela fusão nuclear de cada par de  ${}^3\text{He}$  em repouso.
  - b) Suponha que inicialmente os dois núcleos de  ${}^3\text{He}$  se dirigem um para o outro com uma velocidade de  $0.5c$  e que depois da reacção a velocidade de recuo do  ${}^4\text{He}$ , relativamente ao CM, é de  $0.3c$ . Qual é a energia transportada pelos dois átomos de hidrogénio produzidos na reacção, no referencial do CM?
  - c) Calcule o módulo do momento linear de cada um dos átomos de hidrogénio, supondo que estes seguem com momentos de igual módulo.
  - d) Com que ângulo são emitidos os dois átomos de hidrogénio em relação à direcção de recuo do  ${}^4\text{He}$ ? Faça um esquema.
4. Um condutor relativista percorre no seu carro uma das rectas da estrada IP5-R, com uma velocidade  $v_{\text{carro}}=0.8c$ . O condutor pretende ultrapassar um camião TIR de comprimento próprio  $L_{\text{Tir}}=20$  m, o qual se desloca no mesmo sentido do seu carro com uma velocidade  $v_{\text{Tir}}=0.5c$ . Para isso, o carro (de comprimento próprio  $L_{\text{carro}} \ll L_{\text{Tir}}$ , pelo que pode ser considerado pontual) deve ultrapassar primeiro a parte traseira do TIR (acontecimento A) e posteriormente a sua parte dianteira (acontecimento B).
  - a) Determine a velocidade relativa do carro em relação ao camião TIR,  $v_{\text{CT}}$ .

- b) Calcule no referencial do carro, o tempo que demora a ultrapassagem (ou seja, o intervalo de tempo entre os acontecimentos A e B)
- c) Utilize o intervalo de espaço-tempo  $\Delta s$  (invariante), para mostrar que o intervalo de tempo entre os acontecimentos A e B tem valores diferentes nos referenciais do carro ( $\Delta t'$ ) e do camião TIR ( $\Delta t$ ), e indique em que referencial esse intervalo de tempo é maior.
- d) Mais adiante, nessa estrada, encontra-se uma patrulha da BT-R em repouso, escondida atrás de uma árvore. A patrulha pretende fazer parar o condutor pelo que activa um semáforo, enviando um sinal electromagnético ( $\lambda_{BT}=1.6 \cdot 10^{-6}$  m) que o condutor deverá ver como um “sinal luminoso vermelho” ( $\lambda_{verm}=8 \cdot 10^{-7}$  m), caso se desloque à velocidade máxima permitida por lei. Será que o condutor se encontra em “excesso de velocidade”?
5. Suponha que na alta atmosfera, a partir da radiação cósmica, é produzido um mesão  $\pi^-$  (pião) com uma massa  $m_{\pi^-} \approx 25 \cdot 10^{-29}$  kg. O pião decai num muão  $\mu^-$  de massa  $m_{\mu^-} \approx 20 \cdot 10^{-29}$  kg e num anti-neutrino de massa desprezável. O tempo de vida médio do pião é  $\tau_{\pi^-} \approx 2.5 \cdot 10^{-8}$  s.
- a) Se o pião for criado na alta atmosfera, com uma energia total  $E_{\pi^-} = 3.5 \cdot 10^{-11}$  J no referencial da Terra, qual a sua velocidade vista também do referencial da Terra?
- b) Qual o espaço percorrido pelo pião até decair visto dos referenciais próprio e da Terra?
6. Um fóton com energia superior a duas vezes a massa do electrão, pode-se converter num par electrão-positrão, respeitando a conservação da energia, mas não no vácuo. O positrão é a anti-partícula do electrão: tem a mesma massa deste, mas carga eléctrica oposta.
- a) Mostre que não podemos ter no vácuo um processo em que um fóton desaparece dando lugar a um par electrão-positrão. (sugestão: coloque-se no referencial do centro de massa do par electrão-positrão, e pense na conservação energia-momento)
- b) Dois fótons animados com energia  $E_g = 1,23 \cdot 10^{-13}$  J chocam 'frontalmente'. Pode daqui resultar um par electrão-positrão (massa electrão é  $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$  kg) ou um par muão-antimuão (massa muão é  $m' = 1,89 \cdot 10^{-28}$  kg)? Se sim, com que momento são ambos produzidos?
- c) Questão opcional) Um fóton muito energético choca com um fóton da radiação cósmica de fundo [RCF] ('frontalmente'). Qual a energia mínima que esse fóton terá que ter, no referencial da Terra, para que do choque resulte a produção de um par electrão-positrão? (nota: pode usar para a energia do fóton RCF no referencial da Terra o valor  $E_{gRCF} = 1,87 \cdot 10^{-22}$  J).
- Sugestão: faça as contas no referencial do centro de massa do choque, assumindo que o electrão e o positrão são produzidos quase em repouso (momento nulo)