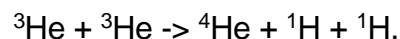


12ª Série de Problemas

Mecânica Relatividade

MEFT

1. Determine para o fóton a relação entre a energia entre dois referenciais S e S'. Que conclui?
2. O bóson de Higgs com uma massa $m_H = 2.25 \times 10^{-25}$ kg e um tempo próprio de vida $t_H = 2 \times 10^{-24}$ s é activamente procurado no LHC. Considere um bóson de Higgs com velocidade $v_H = 0.998c$ ($\beta_H = 0.996$) no referencial do laboratório.
 - 2.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.
 - 2.b) Determine no referencial do laboratório, a distância percorrida pelo bóson de Higgs antes de decair.
 - 2.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.
 - 2.d) Determine no referencial de laboratório a energia dos fótons emitidos.
 - 2.e) Verifique que poderia ter chegado ao resultado da alínea d) utilizando o efeito de Doppler.
3. No Sol, são convertidas, por segundo, milhões de toneladas de hidrogénio e hélio, prótons e energia através de reacções de fusão nuclear. Uma dessas reacções é descrita por



- 3.a) Sabendo que as massas do ^3He , do ^4He e do ^1H são respectivamente 5.008237×10^{-27} kg, 6.646483×10^{-27} kg e 1.673534×10^{-27} kg, calcule a energia cinética libertada pela fusão nuclear de cada par de ^3He em repouso.
- 3.b) Suponha que inicialmente os dois núcleos de ^3He se dirigem um para o outro com uma velocidade de $0.5c$ e que depois da reacção a velocidade de recuo do ^4He , relativamente ao CM, é de $0.3c$. Qual é a energia transportada pelos dois átomos de hidrogénio produzidos na reacção, no referencial do CM?
- 3.c) Calcule o módulo do momento linear de cada um dos átomos de hidrogénio, supondo que estes seguem com momentos de igual módulo.
- 3.d) Com que ângulo são emitidos os dois átomos de hidrogénio em relação à direcção de recuo do ^4He ? Faça um esquema.

4. A descoberta do J/Ψ em 1974 foi uma autêntica revolução na física de partículas, com a confirmação do modelo dos quarks – o J/Ψ é uma partícula formada por um quark c (charme) e o seu antiquark. O J/Ψ tem uma massa de aproximadamente 66×10^{-28} kg e um tempo de vida de cerca de 5×10^{-20} s. Considere um J/Ψ que no referencial do laboratório tem uma velocidade de $0.9998c$.
- 4.a) Calcule, no referencial do laboratório, o momento linear e a energia do J/Ψ .
- 4.b) Determine, no referencial do laboratório, a distância percorrida pelo J/Ψ antes de decair.
- 4.c) Suponha que o J/Ψ decai num par electrão-positrão (electrão positivo). Que fracção da massa do J/Ψ desaparece no decaimento. Porquê?
- 4.d) Determine, no referencial do CM do J/Ψ , o momento linear do electrão resultante.
5. Uma civilização extraterrestre em exercícios militares na vizinhança da Terra, lança acidentalmente um míssil em direcção ao ponto mais estratégico do nosso planeta: a base das Lajes. O Super-Homem em férias no espaço, é avisado do perigo eminente. Quando na base terrestre das Lajes começa oficialmente a monitorização da missão de salvamento, o míssil encontra-se a 10^8 m com uma velocidade de 2×10^7 ms⁻¹ (acontecimento A) e o Super-Homem encontra-se a 9×10^8 m (acontecimento B) com uma velocidade de cruzeiro v e perfeitamente alinhado com a direcção do míssil.
- 5.a) Calcule a velocidade de cruzeiro do Super-Homem para que este salve o planeta no último instante (acontecimento C).
- 5.b) Calcule no referencial do Super-Homem a distância no tempo e no espaço entre os acontecimento B e C.
- 5.c) Mostre que o intervalo do Universo entre os acontecimento B e C (Δs), é de facto igual no referencial da Terra e no referencial do Super-Homem (intervalo invariante).
- 5.d) O Super-Homem já em velocidade de cruzeiro para a Terra, envia um sinal rádio de frequência 10^5 Hz na direcção da base. Qual a frequência em que deve ser sintonizado o receptor da base?
- 5.e) Afinal o Super-Homem estava no parque de diversões de Martepólis. Sendo a distância Terra-Marte de 10^{11} m, refaça a linha a).
6. Suponha que na alta atmosfera, a partir da radiação cósmica, é produzido um mesão π^- (pião) com uma massa $m_{\pi^-} \approx 25 \times 10^{-29}$ kg. O pião decai num muão

μ^- de massa $m_\mu \approx 20 \times 10^{-29} \text{ kg}$ e num anti-neutrino $\bar{\nu}$ de massa desprezável. O tempo de vida médio do píão é $\tau_{\pi^-} \approx 2.5 \times 10^{-8} \text{ s}$.

6.a) Se o píão for criado na alta atmosfera, com uma energia total $E_{\pi^-} = 3.5 \times 10^{-11} \text{ J}$ no referencial da Terra, qual a sua velocidade vista também do referencial da Terra?

6.b) Qual o espaço percorrido pelo píão até decair visto dos referenciais próprio e da Terra?

6.c) Calcule o momento linear total do sistema, após o decaimento do píão, nos referenciais do píão e da Terra.

7. Num laboratório são produzidos feixes de muões e anti-muões (partícula e anti-partícula semelhantes ao electrão e positrão mas com uma massa $m_\mu \sim 200 m_e$) para realizar colisões. Considere que o tempo médio de vida dos muões em repouso é $2.2 \times 10^{-6} \text{ s}$. Considere como acontecimento A a produção de um muão numa das pontas do laboratório e como acontecimento B o desaparecimento desse muão, por decaimento, ao fim do seu tempo de vida médio e na outra ponta do laboratório.

7.a) Determine o módulo da velocidade com que o muão se deve deslocar em relação ao referencial do laboratório, V , de modo a que $\Delta t_{\text{lab}}^{AB} = 4 \times 10^{-6} \text{ s}$.

7.b) Determine a distância percorrida pelo muão durante o seu tempo média de vida no referencial do laboratório e no seu referencial próprio ($\Delta X_{\text{lab}}^{AB}$ e $\Delta X_{\text{muão}}^{AB}$).

7.c) Fazem-se colidir frontalmente um muão e um anti-muão tendo cada um, no referencial do laboratório, o módulo da velocidade obtida em a). Será possível obter da colisão um hipotético bóson de Higgs com uma massa de $3 \times 10^5 m_e$? Justifique.

8. Um mesão π com momento linear $p = 5 m_\pi c$ colide elasticamente com um protão de massa $m_p = 7 m_\pi$ que se encontra inicialmente em repouso. O tempo de vida próprio do mesão é de $2.6 \times 10^{-8} \text{ s}$

8.a) Calcule a velocidade inicial do π ?

8.b) Quanto é que o π percorre antes de decair?

8.c) Calcule a energia total no referencial do centro de massa do sistema.

8.d) Qual é a velocidade do centro de massa do sistema e o momento do π e a velocidade inicial do π no referencial do centro de massa.

9. Considere um mesão π^0 de massa $134 \text{ MeV}/c^2$ que entra na atmosfera da Terra com uma energia de 100 GeV e que durante o seu percurso na atmosfera da Terra decai em dois fótons.

9.a) Determine a velocidade com que o píon entra na atmosfera da Terra.

9.b) Determine, no referencial do π^0 , a energia e o momento de cada um dos fótons resultantes do decaimento do π^0 .

9.c) Determine a energia e o momento, no referencial da Terra de cada um dos fótons resultantes do decaimento do π^0 , considerando que os fótons são emitidos segundo a linha de voo do π^0 .

9.d) Quais são as velocidades no referencial da Terra dos fótons resultantes do decaimento do mesão π^0 ?