

# FFI 265: Exercícios (Lista 1)

## Ordens de grandeza e sistemas de unidades

Em Física de Partículas a energia é geralmente dada em termos de  $MeV$  ou  $GeV$ , onde  $1 eV = 1.6 \times 10^{-19} J$ , e as distâncias em termos de  $fm$  ( $1 fm = 10^{-15} m$ ). É útil para os cálculos notar:  $\hbar c \approx 200 MeV fm$  e o valor da constante de estrutura fina  $\alpha = e^2/(4\pi\hbar c) \approx 1/137$ . **Note:** o sistema de unidades eletromagnéticas mais utilizado é o de Heaviside-Lorentz, em que a energia potencial entre duas cargas  $e$  separadas por uma distância  $d$  é dada por  $U = e^2/(4\pi d)$ . Em relação ao sistema internacional, isso corresponde a adotar unidades tais que  $\epsilon_0 = 1$ . Da mesma forma, toma-se  $\mu_0 = 1$  e os campos  $E$  e  $B$  são dados pelas mesmas unidades, o que resulta na expressão  $\mathbf{F} = q\mathbf{E} + (q/c)\mathbf{v} \times \mathbf{B}$  para a força de Lorentz. (Em relação ao sistema gaussiano, utilizado no livro do Griffiths, as cargas elétricas são multiplicadas por  $\sqrt{4\pi}$  e os campos são divididos por  $\sqrt{4\pi}$ .)

## Problemas

1. Faça as seguintes estimativas.
  - (i) Usando a forma  $\Delta p \Delta x \sim \hbar/2$  para o princípio de incerteza calcule  $\Delta p$  (em  $MeV/c$ ) quando  $\Delta x \approx 1 fm$ , que corresponde à distância típica das interações fortes.
  - (ii) Usando agora a forma  $\Delta E \Delta t \sim \hbar/2$  calcule  $\Delta E$  quando  $\Delta t \approx 10^{-22} s$ , um valor típico de vida média para decaimentos fortes.
  - (iii) Calcule a energia potencial (em  $MeV$ ) devida à repulsão Coulombiana entre dois prótons separados por uma distância de  $1 fm$ .
  - (iv) Calcule as massas do próton e do elétron em  $MeV/c^2$ .
2. Faça os problemas 1–3 do primeiro capítulo do Griffiths.
3. Uma maneira muito direta de obter estimativas é utilizar o chamado **sistema natural** de unidades, em que tomamos  $\hbar = c = 1$ , ou seja tempo e comprimentos possuem as mesmas unidades (e.g.  $fm$ ), que correspondem ao inverso de massas, energias ou momentos. De fato, através de análise dimensional e argumentos físicos simples podemos determinar com bastante precisão grandezas típicas da física de altas energias nessas unidades e depois convertê-las para as unidades usuais, utilizando os valores dados acima para  $\hbar c$  e  $\alpha$ , e notando que  $m_e \approx 0.5 MeV$ . Como exemplo, obtêm-se o comprimento de onda compton reduzido  $\lambda_c/2\pi = \hbar/m_e c$  e o raio de Bohr exatos diretamente de  $1/m_e$  e  $1/m_e \alpha$  respectivamente. No primeiro caso argumenta-se que o processo corresponde à colisão de duas partículas sendo a única escala relevante a massa do elétron e no segundo caso devemos ter também influência da intensidade da interação para formação do estado ligado, sendo o raio inversamente proporcional à intensidade, dada por  $\alpha$ .

- (i) Verifique as duas estimativas descritas acima (como feito em aula).
- (ii) Seguindo esse raciocínio, estime a seção de choque do espalhamento elétron-fóton para baixas energias do fóton incidente, ou espalhamento Thomson, em que não haverá mudança no comprimento de onda do fóton (ao contrário do espalhamento Compton). Note que a seção de choque é proporcional ao quadrado da amplitude de probabilidade da reação, determinada pelo número de vértices do diagrama de Feynman de ordem mais baixa contribuindo para esse processo. (Tente “desenhar” esse diagrama utilizando o vértice da QED.) Considere que, para baixas energias, a energia do fóton incidente pode ser desprezada em comparação com a massa do elétron. A partir do valor obtido, estime o chamado raio clássico do elétron.

Para maiores detalhes sobre as estimativas acima, incluindo a discussão do caso do espalhamento elétron-fóton a altas energias, veja o primeiro capítulo do livro “A Modern Introduction to Quantum Field Theory” (M. Maggiore).

- 4. Utilizando apenas as constantes  $\hbar$ ,  $c$  e a constante da gravitação  $G$ , é possível definir unidades absolutas de tempo, distância e massa, as **unidades de Planck**. Obtenha essas unidades, e estime seus valores no sistema internacional. Em particular, considerando o valor obtido para a massa de Planck, estime para que escala de energias em física de partículas começa a ser relevante a contribuição da força gravitacional.
- 5. Prepare dois dos problemas 4 a 18 do primeiro capítulo do Griffiths para discussão em classe.