

## Problemas 6

### Núcleo e Partículas Elementares

(Os problemas assinalados com *Griffiths* são retirados do livro *Revolutions in Twentieth Century Physics*, David J. Griffiths, Cambridge University Press (2013)).

1. (*Griffiths*, Cap. 4, P6) O período de semidesintegração (ou tempo de meia vida) do trítio (um dos isótopos do hidrogénio) é de 12 anos. Dispõe-se de uma amostra de 1 g de trítio. Qual a massa de trítio que restará após 60 anos? Quanto tempo é necessário esperar até que todo o trítio da amostra desapareça (isto é, até que, em média, reste menos do que um átomo)? (Dado: a massa de um átomo de trítio vale  $5 \times 10^{-27}$  kg.)

[Sol.: 0.0313 g; 929 anos]

2. Uma amostra de linho contém 1 átomo de  $^{14}_6\text{C}$  por  $2 \times 10^{12}$  átomos de  $^{12}_6\text{C}$ . Sabendo que o período de semidesintegração (ou tempo de meia vida) do  $^{14}_6\text{C}$  é de 5730 anos e que a proporção de  $^{14}_6\text{C}$  na atmosfera é de 1 para  $10^{12}$ , determine qual é a idade do tecido.

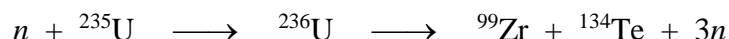
[Sol.: 5730 anos]

3. (*Griffiths*, Cap. 4, P7) Qual é o núcleo descendente em cada uma das reações seguintes?

- a) Decaimento  $\beta^-$  do  $^3\text{H}$  (trítio).
- b) Decaimento  $\beta^-$  do  $^{60}\text{Co}$ .
- c) Decaimento  $\beta^+$  do  $^{10}\text{C}$ .
- d) Decaimento  $\alpha$  do  $^{210}\text{Po}$ .
- e) Decaimento  $\alpha$  do  $^{241}\text{Am}$  (usado normalmente em detetores de fumo).

[Sol.: a)  $^3\text{He}$ ; b)  $^{60}\text{Ni}$ ; c)  $^{10}\text{B}$ ; d)  $^{206}\text{Pb}$ ; e)  $^{237}\text{Np}$ ]

4. (*Griffiths*, Cap. 4, P8) Determine a quantidade de energia que é libertada na reação de cisão

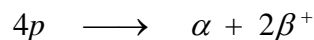


Admita que o neutrão inicial (que desencadeia a reação) é suficientemente lento para que se possa desprezar a sua energia cinética. (Massa dos átomos:  $m({}^{235}\text{U}) = 235.044$  u;  $m({}^{99}\text{Zr}) = 98.917$  u;  $m({}^{134}\text{Te}) = 133.912$  u)

[Sol.:  $12.96 \times 10^{-11}$  J]

## Problemas 6

5. (Griffiths, Cap. 4, P9) No Sol ocorre a reação nuclear de fusão de quatro prótons, originando-se uma partícula alfa e dois pósitrons



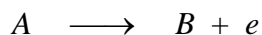
A massa da partícula alfa e dos dois pósitrons é igual à massa de um átomo de  ${}^4\text{He}$  ( $6.646 \times 10^{-27}$  kg) e a massa do próton vale  $1.673 \times 10^{-27}$  kg.

Qual é a energia libertada neste processo?

(Nota: de facto, esta reação não acontece apenas num passo e é também acompanhada pela emissão de dois neutrinos e um fóton, mas isso é irrelevante para o problema.)

[Sol.:  $4.14 \times 10^{-12}$  J]

6. (Griffiths, Cap. 4, P10) Antes de 1930 pensava-se que o decaimento  $\beta^-$  consistia apenas em um núcleo radiativo ( $A$ ) dar origem a um núcleo descendente mais leve ( $B$ ), sendo o processo acompanhado da emissão de um eletrão (a partícula beta):



Suponha que antes da desintegração o núcleo  $A$  está em repouso. Utilizando as leis de conservação (relativistas), mostre que, nestas condições, a energia do eletrão é dada por:

$$E_e = \left( \frac{m_A^2 - m_B^2 + m_e^2}{2m_A} \right) c^2$$

onde  $m_A$ ,  $m_B$  e  $m_e$  são as massas em repouso do núcleo  $A$ , núcleo  $B$  e eletrão, respetivamente.

Sugestão: comece por escrever a equação que traduz a conservação da energia: ( $E_A = E_B + E_e$ ) e note que, uma vez que  $A$  está em repouso, se tem  $E_A = m_A c^2$ ; depois utilize a equação (2.14) do livro para exprimir  $E_B$  em termos de  $p_B$  e invoque a conservação do momento linear para mostrar que  $p_B = -p_e$ ; finalmente, use novamente a equação (2.14) para exprimir  $p_e$  em termos de  $E_e$  e resolva algebricamente para achar  $E_e$ .

7. (Griffiths, Cap. 4, P11) Qual é a energia máxima possível de um eletrão resultante do decaimento de um neutrão em repouso (decaimento beta)? Qual é a energia mínima do eletrão?

[Sol.:  $2.07 \times 10^{-13}$  J;  $0.820 \times 10^{-13}$  J]

8. (Griffiths, Cap. 4, P12) Explique por que razão é necessário subir a uma altitude elevada para detetar piões (Cecil Powell, em 1947, teve que subir ao topo de uma montanha alta para fazer esta deteção), mas os muões são facilmente detetáveis ao nível do mar. Note que o período de semidesintegração do píon é aproximadamente 1/100 do período de semidesintegração do muão. (Sugestão: reveja o problema 7 do Cap. 2 do livro (problema 7 da série ‘Problemas 3’).)

**Problemas 6**

9. (Griffiths, Cap. 4, P14) Indique a que família (leptões, mesões ou bariões) pertence cada uma das seguintes partículas: a) eletrão; b) protão; c) neutrão; d) múon; e) píon; f)  $K$ ; g)  $\Lambda$ .

[Sol.: a) leptão; b) barião; c) barião; d) leptão; e) mesão; f) mesão; g) barião]

10. (Griffiths, Cap. 4, P15) Indique se as reações seguintes são possíveis. No caso de a resposta ser negativa indique a razão.

a)  $p \longrightarrow e + \gamma$  (protão decai num eletrão mais um fóton)

b)  $\pi^0 + n \longrightarrow \pi^- + p$

c)  $\pi^0 + n \longrightarrow \pi^+ + p$

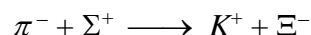
[Sol.: a) não; não haveria conservação da carga; b) sim; c) não; não haveria conservação da carga]

11. (Griffiths, Cap. 4, P16) Qual é a estranheza (“strangeness” em inglês) de cada uma das seguintes partículas?

a)  $p$ ; b)  $\Lambda$ ; c)  $K^+$ ; d)  $\pi^-$ ; e)  $\Sigma^0$ ; f)  $n$ .

[Sol.: a) 0; b) -1; c) +1; d) 0; e) -1; f) 0]

12. (Griffiths, Cap. 4, P17) Suponha que se observa a seguinte reação



O que pode concluir acerca da estranheza de  $\Xi^-$ ?

[Sol.: tem que ser -2]

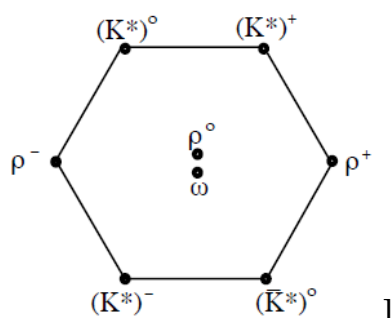
13. (Griffiths, Cap. 4, P18) Construa o diagrama do octeto formado pelos seguintes mesões (conhecidos por “mesões vetores”):

$\rho^+, \rho^0, \rho^-, \omega$  (com  $S = 0$ );

$K^{*+}, K^{*0}$  (com  $S = 1$ );

$K^{*-}, \bar{K}^{*0}$  (com  $S = -1$ ).

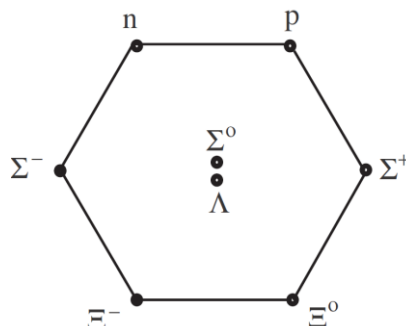
[Sol.:



## Problemas 6

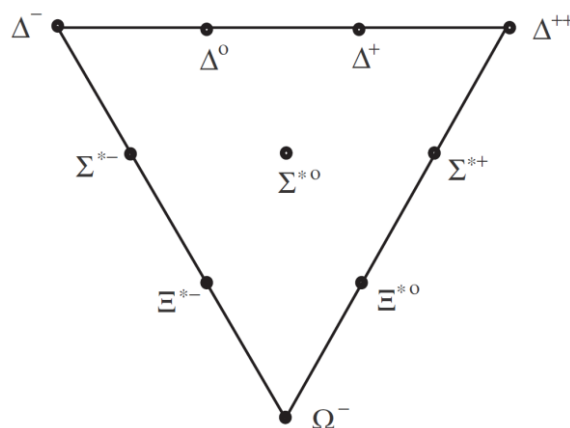
### 14. (Griffiths, Cap. 4, P19)

a) O diagrama do octeto dos bárions mais leves é o seguinte:



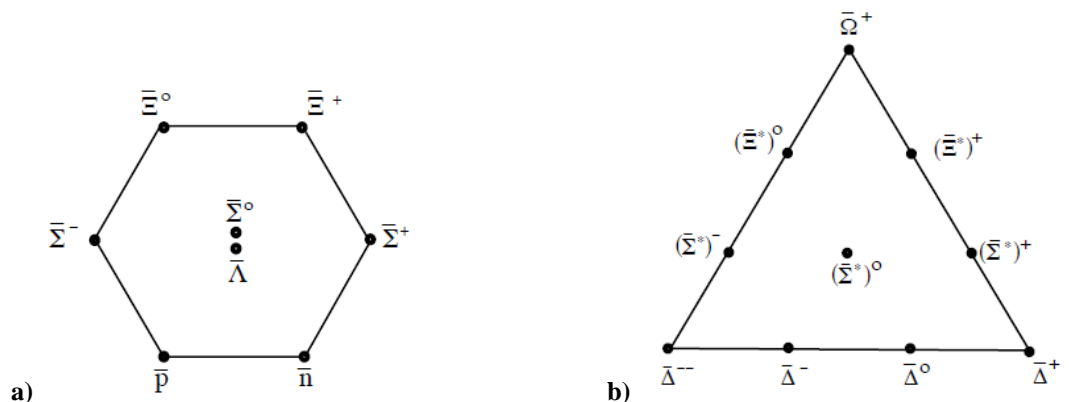
Construa o diagrama do octeto dos correspondentes antibárions. (Note que a estranheza deve decrescer à medida que se caminha para a parte inferior do diagrama; por isso,  $\bar{p}$  e  $\bar{n}$  devem aparecer na linha de baixo.)

b) Considere o seguinte diagrama do decuplete de bárions (mais pesados):



Construa o diagrama do decuplete dos correspondentes antibárions.

[Sol.:





## Problemas 6

15. (Griffiths, Cap. 4, P20) Usando os quatro quarks  $u$ ,  $d$ ,  $s$  e  $c$ , construa uma tabela com todas as possíveis configurações dos bárions. Indique, para cada configuração, a carga, a estranheza e o charme (“charm” em inglês). (Note que o único quark com estranheza não nula é o  $s$ , com estranheza  $S = -1$ ; analogamente, o único quark com charme não nulo é o  $c$ , com charme  $C = +1$ .) Quantas combinações há ao todo?

[Sol.: 20 combinações]

16. (Griffiths, Cap. 4, P21) Usando os quatro quarks  $u$ ,  $d$ ,  $s$  e  $c$ , e os correspondentes antiquarks, construa uma tabela com todas as combinações possíveis que resultam em mesões. Indique, para cada configuração, a carga, a estranheza e o charme. (Note que a carga, a estranheza e o charme de uma antipartícula são iguais em módulo, mas de sinal oposto, aos da correspondente partícula.) Quantas combinações há ao todo?

[Sol.: 16 combinações]

17. (Griffiths, Cap. 4, P22) Usando os seis quarks, quantas combinações que formam bárions são possíveis? E quantas combinações podem formar mesões?

[Sol.: 56 combinações; 36 combinações]

18. (Griffiths, Cap. 4, P23) O charme do mesão  $\psi$  é zero (+1 para o quark  $c$  e -1 para o antiquark  $\bar{c}$ ). O primeiro bárion com charme foi descoberto em 1975: o  $\Lambda_c^+$  (com  $C = 1$  e  $S = 0$ ). Mais tarde foram encontrados outros, como é o caso do  $\Omega_c$  (com  $C = 1$  e  $S = -2$ ). O primeiro mesão com charme, a partícula  $D^+$  (com  $C = 1$  e  $S = 0$ ) foi descoberto em 1976.

A beleza (ou encanto – “beauty” em inglês) do mesão  $Y$  é zero (-1 para o quark  $b$  e +1 para o antiquark  $\bar{b}$ ). Partículas com encanto não nulo foram detetadas pela primeira vez na década de 1980: o bárion  $\Lambda_b^0$  e os mesões  $B^-$  e  $\bar{B}^0$  (todas com  $S = 0$ ,  $C = 0$  e  $B = -1$ ).

Indique para cada uma das partículas referidas quais são quarks que as constituem.

[Sol.:  $cud$ ,  $css$ ,  $c\bar{d}$ ,  $bud$ ,  $b\bar{u}$ ,  $b\bar{d}$ ]

19. (Griffiths, Cap. 4, P24) Em 2007 descobriu-se o primeiro bárion com um quark de cada uma das famílias (o bárion  $\Xi_b^-$ ). Quais são os quarks que o constituem? (Note que a sua carga é -1.) Qual é a sua estranheza ( $S$ ), charme ( $C$ ) e beleza ( $B$ )?

[Sol.:  $bsd$ ;  $S = -1$ ;  $C = 0$ ;  $B = -1$ ]

20. (Griffiths, Cap. 4, P25) Todas as partículas a seguir referidas foram no passado classificadas como “elementares”. Sabe-se atualmente que algumas delas são constituídas por outras (são partículas compostas). Indique, para cada caso, se as partículas são elementares ou compostas de acordo com o Modelo Padrão. Caso sejam compostas, especifique os seus constituintes.

a) próton;    b) neutrão;    c) eletrão;    d)  $\pi^+$ ;    e) múon;    f) neutrino;    g)  $\Omega^-$ .

[Sol.: a) composta ( $uud$ );    b) composta ( $udd$ );    c) elementar;    d) composta ( $u\bar{d}$ );    e) elementar;    f) elementar;    g) composta ( $sss$ )

---

**Problemas 6**

**21.** (*Griffiths, Cap. 4, P26*) Determine a energia (em MeV) de cada um dos fótons que resultam da aniquilação de um par elétron/positrão:

$$e^+ + e^- \longrightarrow \gamma + \gamma$$

(Admita que o elétron e positrão se encontram em repouso antes de se aniquilarem.)

[Sol.: 0.511 MeV]

**22.** (*Griffiths, Cap. 4, P27*) Explique por que razão a aniquilação de um par partícula/antipartícula não pode dar origem a *um só* fóton (por exemplo,  $e^+ + e^- \rightarrow \gamma$  é impossível).

Sugestão: estude o processo num referencial em que a partícula e a antipartícula se aproximam simetricamente (com velocidades iguais, mas em sentidos opostos); neste caso qual teria que ser o momento do fóton? Note que em teoria da relatividade restrita pode escolher-se arbitrariamente o referencial para fazer o estudo; se o processo for impossível num dado referencial, também não poderá existir em qualquer outro referencial.

[Sol.: o fóton teria momento nulo]