



# Problemas Propostos

Sandra Silva

November 2021

## 1 Violação de CP

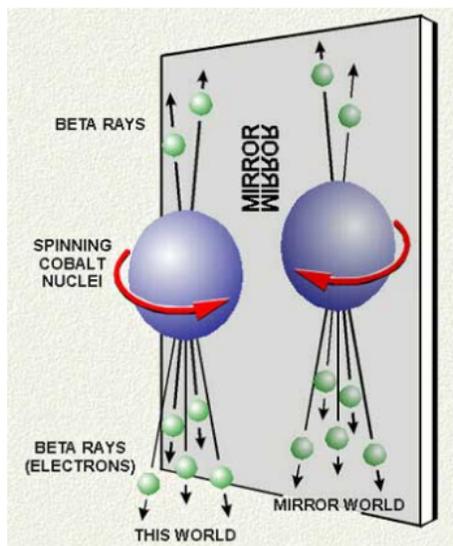
A simetria CP é composta pelo produto de duas componentes: a conjugação de carga (C) e a paridade (P). A conjugação de carga transforma uma partícula na sua antipartícula correspondente, como, por exemplo, é o caso da transformação de um eletrão num positrão. A paridade é por seu lado uma transformação que inverte o espaço de coordenadas, produzindo uma imagem espelhada da realidade.

Desta forma, quando aplicamos a transformação CP a um eletrão a mover-se à velocidade  $v$ , iremos obter um positrão a mover-se à velocidade  $-v$ . Em suma, a aplicação da simetria CP na matéria produz um reflexo da antimatéria correspondente.

As interações forte e eletromagnética são simétricas debaixo de C e P e por consequência também simétricas debaixo de CP. No entanto, no caso da interação fraca esta simetria não é conservada como foi demonstrado por Chien-Shiung Wu em 1957 [1]. Na experiência efetuada, núcleos de cobalto-60 radioativo foram alinhados na direção  $z$  ocorrendo um decaimento beta. A equação geral da reação é:



Como referido anteriormente, este decaimento ocorre através de uma interação fraca sentida por todos os fermiões. A mediação é feita por dois bosões de gauge carregados  $W^{\pm}$  e um bosão neutro  $Z^0$ . Os fermiões sem massa viajam à velocidade da luz, o que resulta numa invariância na direção do spin do mesmo medido por um observador. No caso dos fermiões com massa, esta invariância de Lorentz deixa de existir e introduz-se o conceito de helicidade que corresponde à projeção do spin da partícula na direção do seu momento  $H = \frac{\vec{S} \cdot \vec{P}}{|\vec{S} \cdot \vec{P}|}$ . Esta propriedade toma valores diferentes para diferentes observadores. Se uma partícula tem helicidade  $H = -1$  dizemos que é esquerda e o spin aponta na direção oposta ao momento. O oposto verifica-se para uma partícula com helicidade  $H = +1$ , designada por direita. Na experiência do decaimento beta analisou-se a direção dos eletrões emitidos no decaimento verificando-se que a distribuição de eletrões emitidos é superior na direção oposta ao spin nuclear como pode ser verificado na Fig.1:

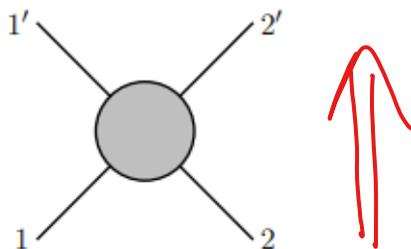


seria interessante  
 ter visto uma  
 representação da  
 orientação dos  
 spins das partículas  
 da experiência. Seria  
 mais clara.

Figure 1: Representação da não conservação da paridade. Retirado de [2]

Na figura acima apresentada podemos verificar a experiência realizada no laboratório à esquerda que corresponde ao mundo real e à direita o processo visto de um espelho. Nesta última a direção dos spins dos átomos de cobalto é invertida enquanto a direção em que são emitidos os raios beta que também deveria ser invertida, mantém-se. O resultado obtido difere do que era esperado e assim estamos perante um fenómeno cuja reflexão não ocorre na natureza ao qual designamos por violação da paridade. Na mesma experiência verifica-se ainda que os eletrões não são transformados em positrões, havendo também violação da conjugação de carga (C).

## 2 Variáveis de Mandelstam



Solo

Figure 2:

Todas as combinações dos momentos das partículas podem ser expressas em termos das variáveis de Mandelstam que são invariantes de Lorentz.

$$\begin{aligned}
 s &= (p_1 + p_2)^2 = (p'_1 + p'_2)^2 \quad \checkmark \\
 t &= (p_1 - p'_1)^2 = (p'_2 - p_2)^2 \quad \checkmark \\
 u &= (p_1 - p'_2)^2 = (p'_1 - p_2)^2 \quad \checkmark
 \end{aligned}$$

A soma das três variáveis é:

$$\begin{aligned} s + t + u &= (p_1 + p_2)^2 + (p_1 - p'_1)^2 + (p_1 - p'_2)^2 \\ &= 3p_1^2 + p_2^2 + p_1'^2 + p_2'^2 + 2(p_1 p_2) - 2(p_1 p'_1) - 2(p_1 p'_2) \\ &= p_1^2 + p_2^2 + p_1'^2 + p_2'^2 + 2p_1 \times (p_1 + p_2 - p'_1 - p'_2) \\ &= p_1^2 + p_2^2 + p_1'^2 + p_2'^2 \\ &= m_1^2 + m_2^2 + m_1'^2 + m_2'^2 \end{aligned}$$

## References

- [1] Wu, C. S., Ambler, E., Hayward, R. W., Hoppes, D. D. and Hudson, R. P. (1957). "Experimental Test of Parity Conservation in Beta Decay". *Physical Review* 105 (4), pp. 1413–1415.
- [2] Forman, Paul. (1982). Fall of parity. *Phys. Teach.* 20. 10.1119/1.2341037. . .