



70%

feito a  
a demonstração  
variações  
das

Rodrigo Kiefe Soares de Oliveira  
Nº Mec.: 89196

Física Experimental de Partículas e  
Astropartículas

Mar delis fern.

Violação de Simetria CP

### - Introdução

A simetria CP trata-se da simetria que ocorre na transformação entre partículas e antipartículas (**C**arga e **P**aridade). Dando-se como exemplo a transformação do elétron up num positrão down, a carga e a paridade são invertidas.

Determinados decaimentos violam esta paridade devido à força Fraca e a esse fenómeno chama-se "violação da simetria cp". Contudo, é de notar que a força Forte e a força eletromagnética parecem não afetar a simetria cp.

### - Interação Fraca

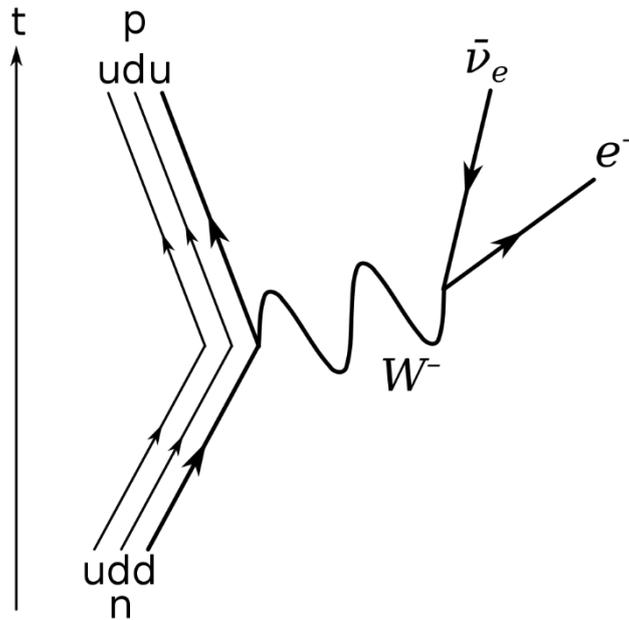
A força fraca é uma das quatro forças fundamentais da natureza e particularmente importante no decaimento Beta. As partículas mediadoras são os bosões W e Z, que são particularmente pesados, tornando a probabilidade de ocorrência de determinados fenómenos rara devido à energia necessária para que estes ocorram. As partículas W e Z diferem apenas pela carga de atuação: W atua como mediador em interação de partículas carregadas, sendo W<sup>+</sup> para partículas de carga negativa e W<sup>-</sup> para partículas de carga positiva; Z atua em interações de partículas de carga nula.

O decaimento Beta suscitou determinados problemas, que suscitaram a necessidade da existência da força fraca para explicar os fenómenos aparentemente incoerentes com a física da época. Duas propriedades pareciam não ser preservadas: conservação total de **energia**; conservação de **momento linear e angular**.

Um neutrão ao decair para um próton e um elétron (decaimento beta), emite uma partícula adicional: o neutrino. Essa partícula adicional gera a conservação da energia, que sem o neutrino deixa de haver. O momento linear do neutrino permite, assim, explicar a aparente não conservação de momento total do sistema elétron + próton, já que o momento ausente se encontra nesta nova partícula.

O spin do neutrão é  $\frac{1}{2}$  ou  $-\frac{1}{2}$  tal como o spin do próton e do elétron resultantes gerando uma incongruência no spin total do sistema. Uma vez que o neutrino gerado tem também spin  $\pm \frac{1}{2}$  (consoante seja uma partícula ou a sua antipartícula), o spin total do sistema resultante é  $\{-\frac{3}{2}; -\frac{1}{2}; \frac{1}{2}; \frac{3}{2}\}$ , ou seja, existe possibilidade de conservar o momento angular de spin.

$\left\{ \begin{array}{l} W \equiv \text{associado a correntes carregadas} \\ Z \equiv \text{'' a correntes neutras} \end{array} \right.$

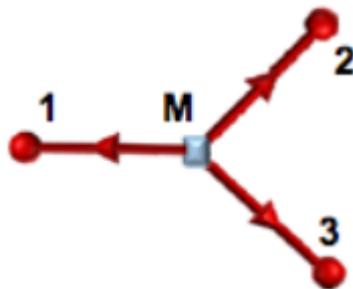


**Figura 1** - Diagrama de Feynman para decaimento Beta<sup>-</sup>

Vemos na figura 1 o diagrama de Feynman que ilustra este fenómeno, um neutrão decai num protão, num eletrão e num neutrino. Mais especificamente, o down quark transforma-se num up quark + antineutrino eletrão + eletrão.

É de notar que o bosão W<sup>-</sup> decai, produzindo as duas partículas seguintes: eletrão e neutrino eletrão.

Mandelstam variáveis:



**Figura 2** – Representação da emissão de três partículas, resultantes de um decaimento de uma partícula M

Seja

$$p_{ij} = p_i + p_j \quad , \quad s_{ij} = p_{ij}^2$$

$$s_{12} = (p_1 + p_2)^2 = (P - p_3)^2$$

$$s_{23} = (p_2 + p_3)^2 = (P - p_1)^2$$

$$s_{31} = (p_3 + p_1)^2 = (P - p_2)^2$$

No centro de massa de M, temos:  $\vec{P}^* = \vec{p}_1^* + \vec{p}_2^* + \vec{p}_3^* = 0$



Usando  $P = (M, 0, 0, 0)$  obtemos as componentes  $s_{ij}$  numa forma simplificada.

A partícula central da figura 2 sendo o down quark e as três restantes sendo o elétron, neutrino elétron e o up quark. As componentes M e P correspondem ao down quark e as restantes três partículas podem utilizar qualquer um dos outros 3 índices.

Resulta:

$$s_{12} + s_{23} + s_{31} = M^2 + m_1^2 + m_2^2 + m_3^2$$

✓  
falte demonstrar -

### - Experiência de Wu

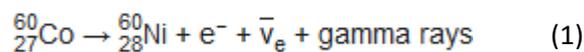
Para falar sobre a quebra de simetria, vamos primeiro falar de um detalhe onde essa quebra foi confirmada pela experiência de Wu.

Na generalidade, tanto as partículas como as antipartículas podem ter orientação de spin positivo como negativo. O elétron por exemplo, tanto pode estar orientado segundo +Z como -Z ao passar por um detetor de spin e, como ele, pensava-se que todas as partículas e antipartículas seguiam o mesmo princípio. Contudo, o neutrino e antineutrino parecem ter orientações pré-definidas. O neutrino sendo "left-handed" e o antineutrino "right-handed".

Right-handed: o sentido do spin e do momento linear são iguais; Left-handed: o sentido do spin e do momento linear são opostos.

Se executar uma transformação de paridade a estas duas partículas, o neutrino passa a ser right-handed e o antineutrino left-handed. Uma vez que nunca vimos nenhum neutrino right-handed ou um antineutrino left-handed no nosso universo, significa que conseguimos distinguir esquerda da direita e o mundo "real" do mundo "espelhado" e o universo não é simétrico por paridade (**Violação do CP**).

A experiência de Wu que foi executada envolvia o decaimento Beta referido no capítulo anterior, mas usando cobalto 60.



Colocaram o Cobalto na presença de um campo magnético forte e uniforme, alinhando os spins do cobalto segundo uma direção bem definida, e arrefecido a quase zero absoluto para que o movimento térmico não arruine o alinhamento. O níquel produzido encontra-se num estado excitado que por sua vez vai decair para o estado fundamental, emitindo 2 raios gama. Esses raios gama têm de preservar a paridade. A distribuição dos elétrons emitidos pode, então, ser comparada com a distribuição dos fótons para saber se também os elétrons estão sendo emitidos de forma isotrópica.

Agora, a experiência mede a emissão dos fótons e elétrons em direções distintas e compara os seus valores. Se as contagens para os elétrons não diferir significativamente das dos fótons então haveria evidências para sugerir que a paridade é conservada pela interação fraca.

Os resultados da experiência demonstram que os elétrons emitidos têm direção preferida relativa ao spin do núcleo e preferencialmente oposta à direção dos fótons emitidos e, por sua vez, oposta ao spin do núcleo. Esta preferência não é invertida com a inversão do campo magnético aplicado ao cobalto, logo este fenómeno não advém da magnetização da amostra.