

Neutrinos

1) A existência do neutrino foi proposta por Dirac para resolver um problema: o da conservação de energia no decaimento β .

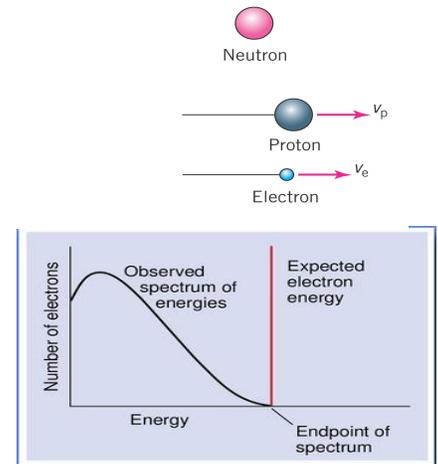
Experimentalmente, o que se via era:

Um neutrão (que vamos considerar em repouso) decaía dando origem a um próton e a um electrão. O que se detectava na experiência era o electrão, medindo-se a sua energia.

Essa energia não era sempre a mesma, apresentando uma distribuição semelhante à representada a preto na figura (“Observed spectrum of energies”)

Tendo em conta a conservação da energia e do momento linear, escreve a expressão da energia do electrão. Mostra que se esperava neste caso uma distribuição semelhante à linha vermelha da figura (“Expected electron energy”).

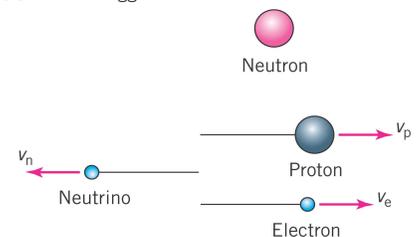
(a) Observed:



A ideia de Pauli foi que talvez houvesse mais uma partícula (que não era detectada) no estado final.

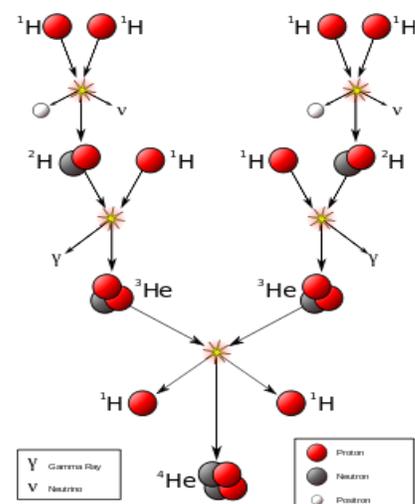
Mostra que assim já é possível conservar a energia e o momento.

(b) Pauli's suggestion:



2) Os neutrinos têm um papel fundamental na produção de energia no Sol, sendo libertados no processo de formação de Hélio-4: $4 p \rightarrow {}^4\text{He} + 26 \text{ MeV } (\gamma) + 2 \nu$

Tendo em conta que a luminosidade na Terra é de 1367 watts/m², qual o fluxo de neutrinos (por m² e por s) que nos chega do Sol?

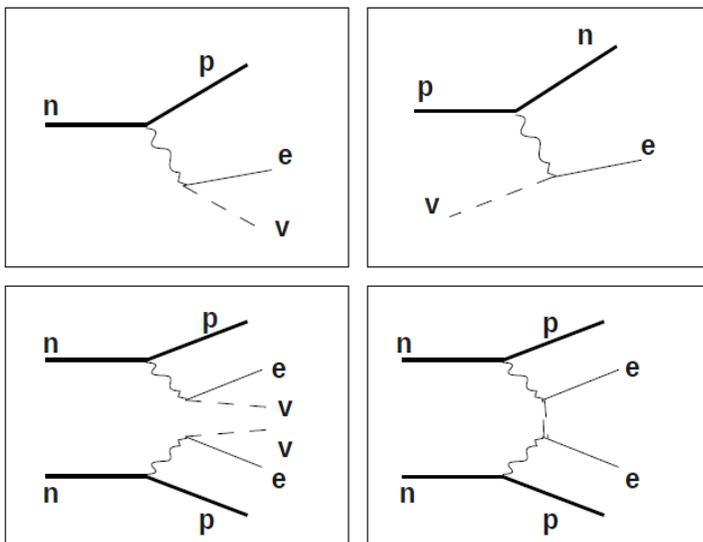


4) Nos núcleos atômicos, a massa não corresponde apenas à soma das massas dos prótons e nêutrons existentes, mas tem uma contribuição importante da energia de ligação entre eles. Em muitos casos é possível o decaimento de um isótopo (A,Z) para outro $(A, Z+1)$, que é em geral mais leve; mas existe um pequeno número de isótopos em que só é possível o decaimento de dois nêutrons em dois prótons. É o caso dos decaimentos de $\text{Te}(130,52)$ para $\text{Xe}(130,54)$ em SNO+, e de $\text{Xe}(136,54)$ para $\text{Ba}(136,56)$ em LZ.

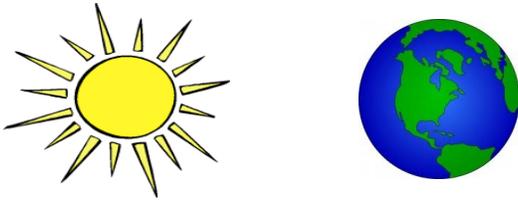
Usamos este processo para testar a possibilidade de o neutrino ser a sua própria anti-partícula! Nesse caso, para além do decaimento normal em que são emitidos dois neutrinos, poderia haver também um decaimento beta duplo sem emissão de neutrinos.

- a) Em SNO+, o meio activo do detector é líquido e os electrões depositam a sua energia imediatamente. Desenha um esquema do gráfico do resultado esperado para a soma das energias dos dois electrões.
- b) Se o meio activo fosse gasoso e poderiam ver-se trajectórias de electrões de alguns centímetros. Desenha um esquema do que se veria para decaimentos em várias zonas de energia do gráfico anterior.

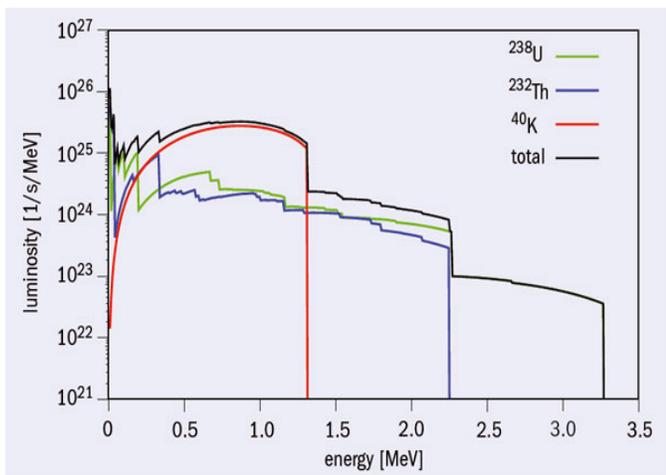
5) Observa os diagramas de Feynman da figura seguinte. Estes diagramas representam as interacções das partículas ao nível elementar, e são usados para verificar se um dado processo é possível ou não e para ajudar nos cálculos de processos mais complexos. Neste caso, são lidos da esquerda para a direita, representando as partículas iniciais e as finais, respectivamente (mas as linhas não representam as trajectórias das partículas, que podem variar). Verifica para cada um dos quatro diagramas quais são as cargas dos electrões (ou positrões) correspondentes. E quais são os neutrinos e anti-neutrinos?



6) Na Terra não existe fusão nuclear como no Sol, mas existem vários elementos instáveis de vida média longa, cuja radiação contribui para a energia geotérmica que nos chega à superfície desde o interior do planeta. Assim como medir neutrinos solares permite estudar o Sol, medir os neutrinos criados por decaimento beta no interior da Terra também permite estudar a sua composição e evolução.



Os decaimentos do potássio, do urânio e do tório (junto com os de vários isótopos por eles gerados) criam neutrinos de diferentes energias, como se mostra no gráfico seguinte. A sua detecção é feita por um processo inverso do decaimento beta, mostrado nos diagramas acima. Qual é a energia mínima que o tem de ter o neutrino para ser detectado por este processo? Quais os elementos que assim podemos medir?



7) Em 1987, três detectores de neutrinos tiveram picos de contagens coincidindo no mesmo minuto. Passadas três horas, os astrónomos viram uma explosão de uma estrela – uma supernova na Nuvem de Magalhães. Aquele ponto no céu foi mesmo visível a olho nú durante alguns minutos, hoje continua a emitir radiação noutros comprimentos de onda. Como se explica que os neutrinos produzidos naquela supernova nos cheguem mais rápido do que a luz?