

# N-N Scattering

HonQM

05-08-2015

João Lourenço

# Introdução

- Características e aspetos do Potencial nuclear
- Exchange force model (troca de mesões)

# Potencial Nuclear

## 1- Potencial Nuclear como um potencial central

- Deuteron
- Contém um termo apenas dependente de  $r$  (distância entre nucleões)
- $V_c(r)$

# Potencial Nuclear

## 2- Potencial fortemente dependente do spin

- Estado fundamental do deuterão e secções eficazes
- Potencial invariante para paridade e reflexão temporal
- Termos permitidos:  $s_1^2, s_2^2 ; s_1 \cdot s_2$
- Potencial do tipo:  $s_1 \cdot s_2 V_s(r)$
- Incorporando  $V_c(r)$ :

$$V(r) = - \left( \frac{s_1 \cdot s_2}{\hbar^2} - \frac{1}{4} \right) V_1(r) + \left( \frac{s_1 \cdot s_2}{\hbar^2} + \frac{3}{4} \right) V_3(r)$$

# Potencial Nuclear

3 – Termo não central, o potencial tensor

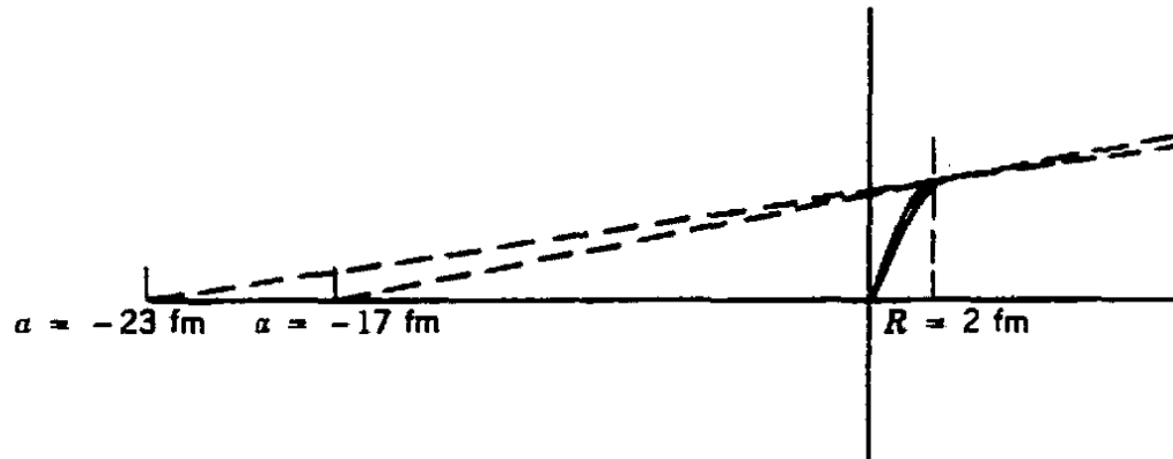
- Função de onda do Deutério (mistura de estados de  $l$  diferente)
- Termo da forma  $V(\vec{r})$
- Depende de termos do tipo:  $(\mathbf{s}_1 \cdot \mathbf{r})(\mathbf{s}_2 \cdot \mathbf{r})$
- Caracter tensorial será:  $V_T(r)S_{12}$ .

$$S_{12} = 3(\mathbf{s}_1 \cdot \mathbf{r})(\mathbf{s}_2 \cdot \mathbf{r})/r^2 - \mathbf{s}_1 \cdot \mathbf{s}_2$$

# Potencial Nuclear

4 – Potencial Nuclear praticamente independente da carga dos nucleões

- n-n ; n-p ; p-p idênticos
- Comprimentos de scattering de n-p e p-p são -23,7 fm e -17 fm



- Comprimentos de scattering negativos são sensíveis
- Possível pequena diferença no potencial

# Potencial Nuclear

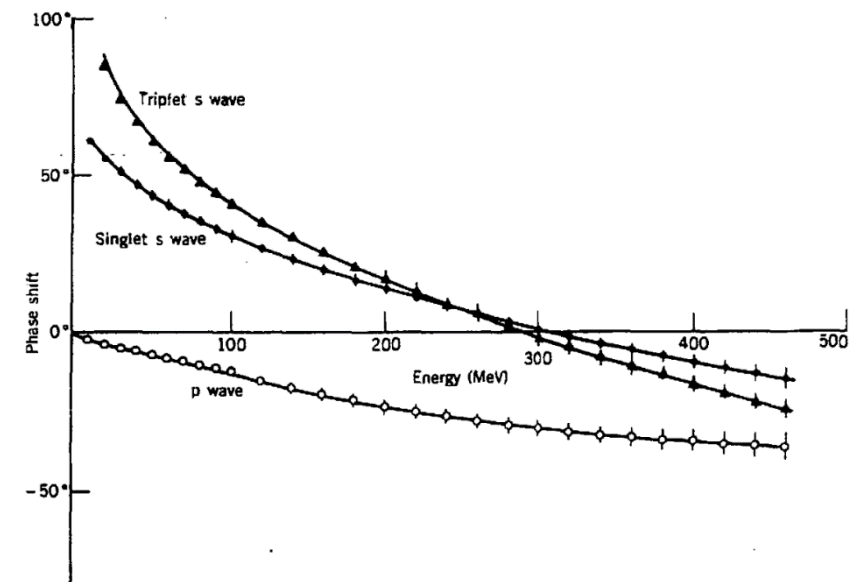
5 – Para pequenas distâncias o potencial torna-se repulsivo

- Adicionamos nucleões e a sua densidade central é constante

- Para ondas-s a diferença de fase muda de sinal

- O potencial nuclear tem de ser da forma (poço de potencial):

$$\begin{aligned} V(r) &= +\infty & r < R_{\text{core}} \\ &= -V_0 & R_{\text{core}} \leq r \leq R \\ &= 0 & r > R \end{aligned}$$



# Potencial Nuclear

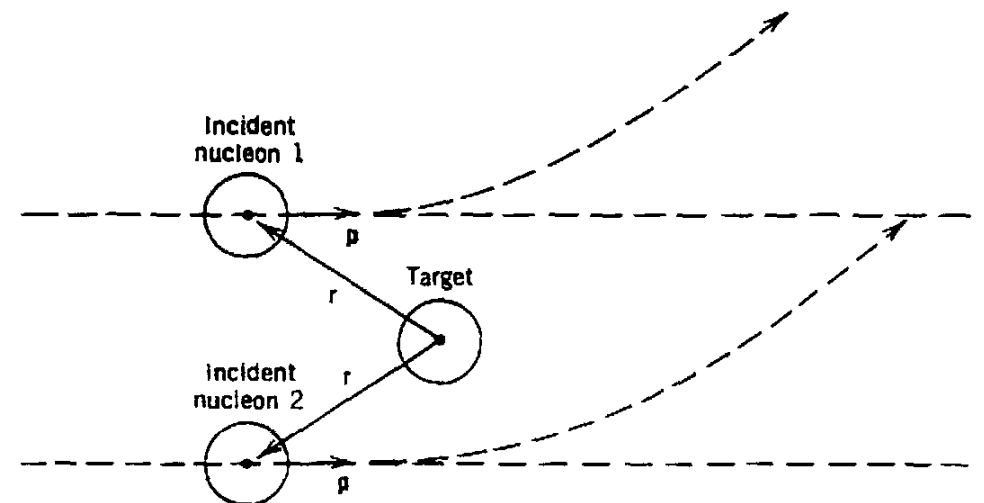
## 6 – Potencial dependente do momento relativo dos nucleões

- Potencial nuclear dependente do momento e invariante à paridade e reflexão temporal:

$$V(r)(r \times p) \cdot S$$

$$S = s_1 + s_2$$

- Como  $l = r \times p$  (momento angular relativo)
- Componente spin-orbit:  $V_{so}(r)l \cdot S$
- Experimentalmente obtemos partículas scatterizadas polarizadas
- Explicado pela interação spin-orbit





# Exchange Force Model

- Mecanismo físico para a força entre nucleões
- Produz potenciais idênticos
- Ajusta-se aos dados experimentais
- Dois principais argumentos a seu favor

# Exchange Force Model

## 1- Forças nucleares saturam

- Densidade nuclear e energia de ligação por nucleão praticamente constantes
- Análogo ao que se passa nas moléculas
- Troca ou partilha de eletrões dando origem a uma força
- Repelem-se a curtas distâncias
- Formam um número limitado de ligações

# Exchange Force Model

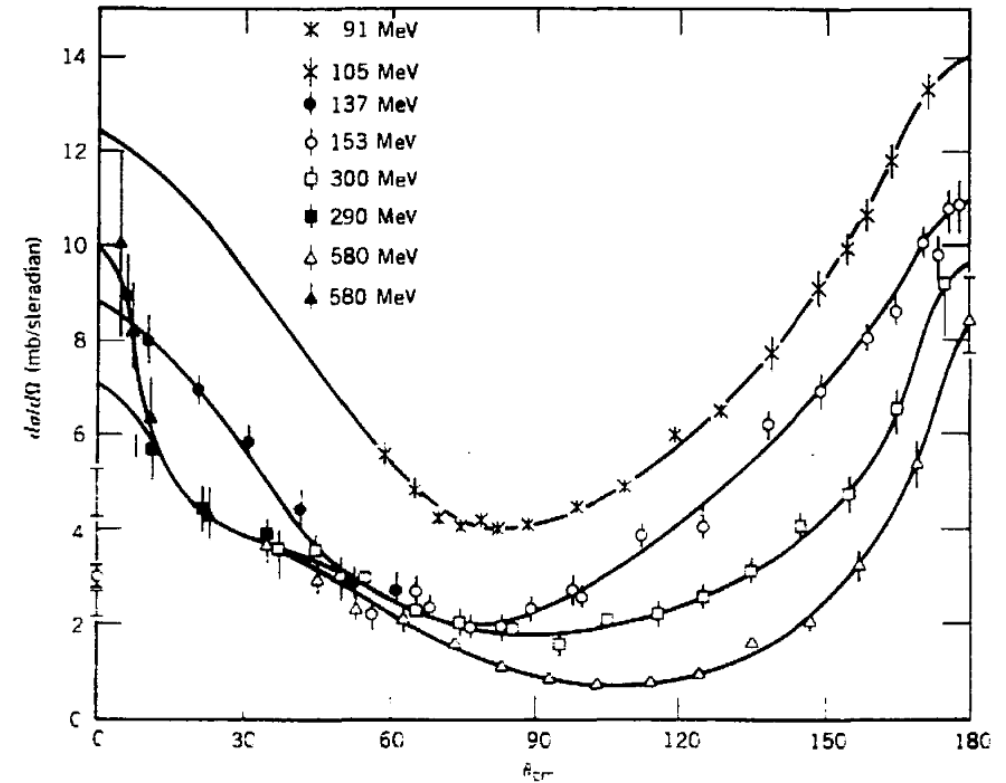
## 2 – Scattering n-p a altas energias

- Pico para 0 graus

$$\theta \approx \frac{\Delta p}{p} = \frac{F \Delta t}{p} = \frac{1}{p} \frac{V_0 R}{v} = \frac{V_0}{pv} = \frac{V_0}{2T}$$

$$\theta < 10^\circ$$

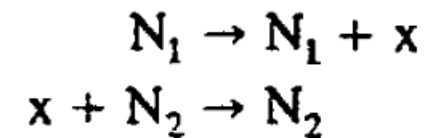
- E para 180 graus? Usamos o Exchange Model
- O próton e o neutrão “trocam” de lugares



# Exchange Force Model

- Campos de forças estão quantizados
- Interação absorvendo e emitindo quanta de campo
- Há troca de quanta do campo nuclear entre núcleões

- Emite partícula de massa-energia  $m_x c^2$  e permanece núcleão?
- Viola princípio da conservação de energia
- Princípio de incerteza de Heisenberg
- Massa da partícula:



$$\Delta t < \hbar / (m_x c^2) \qquad \Delta E = m_x c^2$$

- $R = 1$  fm
- Massa-energia de 200 Me

$$R = c \Delta t = \frac{\hbar c}{m_x c^2} = \frac{200 \text{ MeV} \cdot \text{fm}}{m_x c^2}$$

# Exchange Force Model

- Partículas virtuais violam a conservação de energia e existem em curtos espaços de tempo
- Responsáveis pelas forças nucleares são os mesões
- Pião (mesão) é o responsável pela força de longo alcance (1-1,5 fm)
- Spin 0 e cargas elétricas -1,0,+1
- Têm massas de repouso diferentes (139,6 MeV para  $\pi^{\pm}$  e 135 MeV para  $\pi^0$ )
- Pode explicar a não independência relativamente à carga

# Exchange Force Model

- Interações n-n e p-p



- Para interações n-p todos os piões são possíveis



- Interações com piões adicionais podem explicar a diferença nos potenciais

# Exchange Force Model

- Hipótese proposta por Yukawa
- Potencial de interação dado por

$$V(r) = \frac{g_{\pi}^2 (m_{\pi} c^2)^2}{3(Mc^2)^2 \hbar^2} \left[ s_1 \cdot s_2 + S_{12} \left( 1 - \frac{3R}{r} + \frac{3R^2}{r^2} \right) \right] \frac{e^{-r/R}}{r/R}$$

- Interação para longos alcances (1-1,5 fm)
- Existem outros