
Física Moderna II

Aula 16

Marcelo G. Munhoz

munhoz@if.usp.br

Lab. Pelletron, sala 245

ramal 6940

Do potencial médio à força nucleon-nucleon

- Até o momento, tratamos a interação nuclear com um potencial médio, com resultados bastante satisfatórios;
- Porém, precisamos compreender a natureza da força nucleon-nucleon;
- O que sabemos sobre essa força?

Propriedades da força nucleon-nucleon

- Algumas propriedades da força nuclear que já conhecemos:
 - A força nuclear é atrativa e forte (supera a força Coulombiana): condição necessária para a própria existência do núcleo;
 - Algumas partículas não sentem a força nuclear (elétrons, por exemplo);
 - A força nuclear é de curto alcance (satura): dependência do raio e energia de ligação dos núcleos com a massa atômica (A);

Propriedades da força nucleon-nucleon

- Algumas propriedades da força nuclear que já conhecemos:
 - A força nuclear independe da carga (é igual entre prótons e entre nêutrons): comportamento semelhante entre núcleos “espelho” (^{17}O e ^{17}F , por exemplo);
 - A força nuclear apresenta uma componente repulsiva: caso contrário, o núcleo colapsaria;

Sistemas de dois nucleons

- Uma maneira conveniente de se estudar a força nucleon-nucleon é utilizar sistemas de dois nucleons, ou seja, **p-p**, **n-n** ou **n-p**;
- Podemos estudar tanto sistemas ligados como o espalhamento desses nucleons;

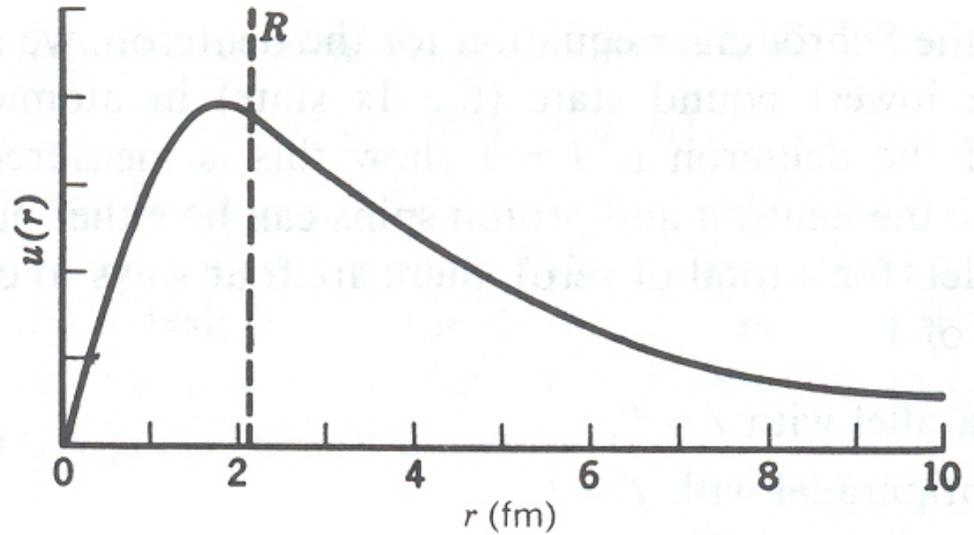
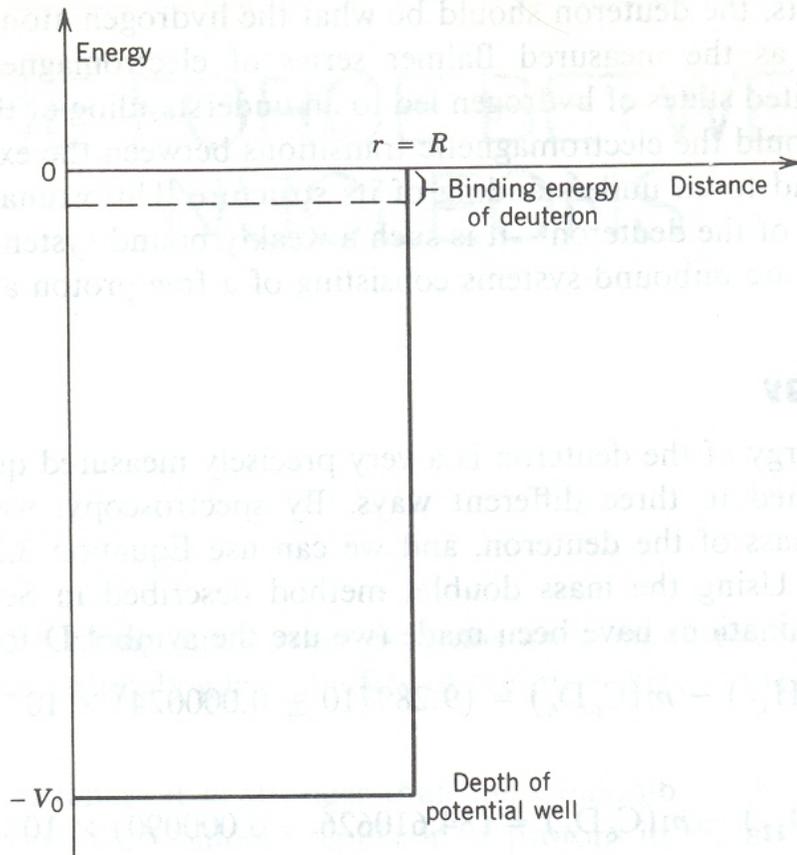
Sistemas ligados de dois nucleons

- Em termos de sistemas ligados, apenas a combinação n-p é ligada, formando um dêuteron. Não existe na natureza di-prótons (p-p) ou di-nêutrons (n-n);
- O que isso significa? Não pode indicar uma dependência da força nuclear com a carga, contrariando nossa conclusão anterior?

O dêuteron

- Algumas propriedades do dêuteron são:
 - B (energia de ligação) = 2,22 MeV;
 - Não possui estados excitados;
 - J^P (momento angular total e paridade) = 1^+ ;
 - μ_d (momento de dipolo magnético) = $0,857 \mu_N$;
 - Q (momento de quadrupolo elétrico) = $0,00288 b$;

O dêuteron: função de onda



O dêuteron: spin e paridade

- I^P (momento angular total e paridade) = 1^+ ;
- Portanto, sendo : $I = s_n + s_p + l$
 - s_n e s_p são paralelos e $l = 0$;
 - s_n e s_p são anti-paralelos e $l = 1$;
 - s_n e s_p são paralelos e $l = 1$;
 - s_n e s_p são paralelos e $l = 2$;
- Como a paridade do dêuteron é positiva, deve-se ter $l=0$ ou $l=2$, pois $\pi = (-1)^l$

O dêuteron:

momento de dipolo magnético

- Se o dêuteron apresenta apenas uma função de onda com $l=0$, o seu momento magnético deverá ser apenas resultado da contribuição dos momentos magnéticos do próton e do nêutron:

$$\mu = \mu_p + \mu_n$$

- Fazendo essa hipótese tem-se:

$$\mu = 0,879804 \mu_N$$

- Essa diferença pode ser devido a uma pequena contribuição do estado com $l=2$;

O dêuteron:

momento de quadrupolo elétrico

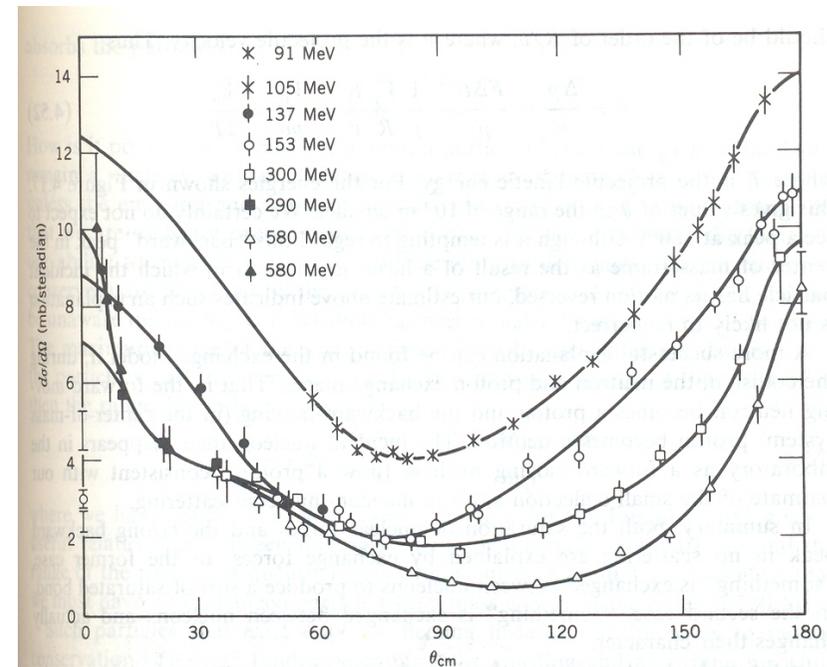
- Se o dêuteron apresenta apenas uma função de onda com $l=0$, o seu momento de quadrupolo elétrico deve ser nulo;
- O pequeno valor apresentado indica, mais uma vez, que deve haver contribuição do estado com $l=2$;
- E isto, por sua vez, indica que há uma componente **não-central** no potencial nuclear;

As forças de troca

- Como podemos explicar todas essas características?
- Um abordagem muito bem sucedido se refere às **forças de troca**;
- Nessa abordagem, a força entre duas partículas é devido a troca de uma terceira partícula, que é consistente com uma teoria quântica de campos;

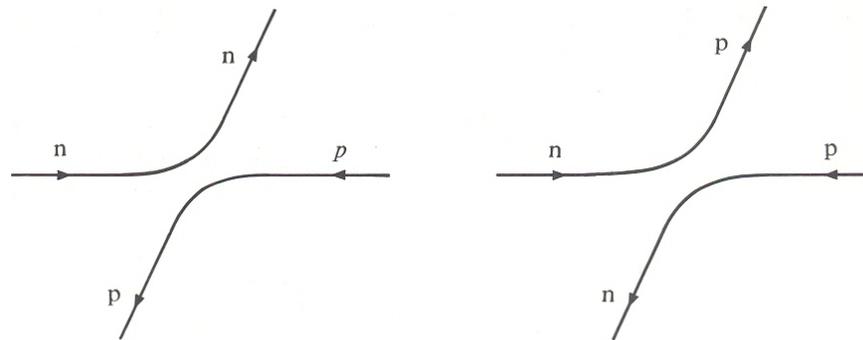
As forças de troca

- Os principais argumentos para uma força de troca para o núcleo são:
 - O curto alcance da força forte;
 - Dados de espalhamento de nêutrons em prótons a altas energias;



As forças de troca

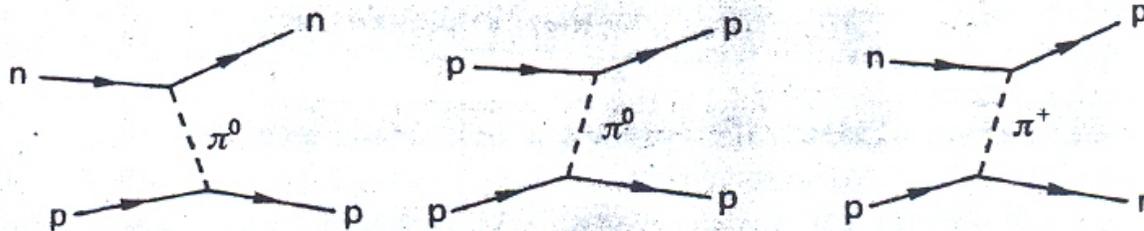
- Esses dados de espalhamento podem ser explicados a partir de reações em que o nêutron é “trocado” por um próton e vice-versa:



- Como explicar essas reações?

As forças de troca

- Essa “transformação” pode ser explicada a partir de uma troca de partículas:



- Essas partículas trocadas são os chamados **mesons-pi** ou **pions** e correspondem ao quantum do campo da força forte;

As forças de troca

- Como é possível um núcleon “emitir” uma partícula de massa não nula e ainda permanecer como um nucleon?
- A resposta está no fato dessa partícula ser **virtual**, isto é, ela “existe” por apenas um pequeno intervalo de tempo, que é permitido pelo princípio da incerteza.

O potencial de Yukawa

- Considerando a força de troca, o físico japonês Yukawa, propôs um potencial nuclear obtido da resolução da equação relativística de Klein-Gordon, cuja expressão é:

$$V(r) = \left(\frac{g^2}{4\pi r} \right) \exp\left(\frac{-mcr}{\hbar} \right)$$