

# Notas Fisica Nuclear y de Partículas

Daniel Vazquez Lago

17 de septiembre de 2024

---

# Índice general

<b>1. Conceptos básicos</b>	<b>5</b>
<b>2. Interacción nuclear</b>	<b>7</b>
2.1. Evidencias experimentales . . . . .	7
2.1.1. Deuterio . . . . .	7
2.1.2. Dispersión protón-neutron . . . . .	7
2.1.3. Dispersión protón-protón y neutrón-neutrón . . . . .	8
2.1.4. Características de la interacción nuclear fuerte . . . . .	8



# 1

## Conceptos básicos



# 2

## Interacción nuclear

### 2.1. Evidencias experimentales

#### 2.1.1. Deuterio

Las medidas del momento cuadrupolar eléctrico dan resultados distintos de cero para el deuterón ( $Q=2.88\pm0.02$  mb), por lo que el neutrón y el protón deben estar orbitando alrededor del centro de masas (o que el protón/neutrón no son esferas uniformemente cargadas).

De los datos anteriores, se concluye que los espines del protón y el neutrón son paralelos. Por tanto  $S = 1$  y estarán en un estado **triplete**. Dado que tiene que mantener una paridad  $+1$  y un espín global  $+1$ , y por tanto  $l = 0, 2$ , es imposible que los espines del sistema protón-neutrón no tengan la misma orientación.

#### 2.1.2. Dispersión protón-neutrón

Otra fuente de información nuclear nos la da la dispersión entre nucleones. La sección eficaz protón-neutrón (choque protón-neutrón) es constante a bajas energías: la interacción no es sensible a la estructura interna y parece comportarse como una dispersión binaria.

¿Por qué cae la sección eficaz? En el momento que subo la energía empiezo a ser sensible a la estructura interna de cada partícula, abriéndose otros canales (ya no solo hay dispersión elástica) de interacción, como puede ser la excitación del protón, neutrón, creación de otras partículas... A nosotros nos interesa la sección eficaz de la interacción elástica.

Del cálculo teórico de la sección eficaz (con el potencial anterior) se pueden deducir dos componentes, una para la configuración **triplete** y otra para la **singlete** (ver Krane, Sabarido). De este modo tenemos que la sección eficaz es muy diferente si ambas partículas chocan con el mismo espín o con diferente espín.

Se pueden deducir las **longitudes de dispersión**  $a$  y los **rangos efectivos**:

- **Rango efectivo:** es una media del tamaño del potencial.

- **Longitud de dispersión:** es una medida de la intensidad de la interacción. Se puede definir como el tamaño que tendría una esfera rígida que daría la misma sección eficaz elástica  $\sigma = 4\pi a^2$ . La idea es cuánto “desfasa” el potencial la f.d.o. incidente (una idea original de Fermi, que veremos en el tema de reacciones). Su signo nos dice si la onda para  $\mathbf{k} \sim 0$  es posible o no y (si) son posibles (sus) estados ligados.

La longitud de dispersión me dice si con un potencial atractivo puedo crear un estado ligado o no (Caamaño). ¿Si yo hago tender ese choque a cero (de energía supongo) se formaría un estado ligado?. Si la longitud de dispersión es positivo el potencial puede atrapar a la partícula, y si es negativo no puede atrapar.

Se pueden deducir las **longitudes de dispersión**  $a$  y los **rango efectivo**  $r_0$  para cada componente de  $\mathbf{S}$ :

$$a_{\uparrow\uparrow} = 5,423\text{fm} \quad r_{0\uparrow\uparrow} = 1,748\text{fm} \quad (2.1.1)$$

$$a_{\uparrow\downarrow} = -23,72\text{fm} \quad r_{0\uparrow\downarrow} = 2,73\text{fm} \quad (2.1.2)$$

Si los espines son antiparalelos *no puedo formar un estado ligado*, a pesar de que el potencial es atractivo.

### 2.1.3. Dispersión protón-protón y neutrón-neutrón

A partir de las dispersiones pp y nn se puede obtener más información sobre la interacción nuclear y su dependencia con el isoespín.

Para realizar estos experimentos puedo hacer chocar un protón con un átomo de deuterio y, dado que puede chocar con un neutrón, pero yo esta reacción ya la conozco, puedo desacoplar los resultados y estudiar aquellos choques en los cuales el protón protón interactuen. Se dice subrogar la reacción.

En el caso de partículas idénticas a baja energía ( $l=0$ ) solo podemos acceder estados **single-tes**. Además, en el caso de dispersión **pp** tenemos el efecto del campo de Coulomb:

$$a_{pp} \quad (2.1.3)$$

$$a_{nn} \quad (2.1.4)$$

Para que no le importan si son protones y neutrones, ambas longitudes de dispersión son negativas lo que significa que no existen sistemas ligados de dos protones y dos neutrones. La razón: el efecto de  $\mathbf{S} = 0$  en la interacción.

### 2.1.4. Características de la interacción nuclear fuerte

De los datos experimentales se pueden sacar algunas conclusiones sobre esta interacción entre nucleones

- A cortas distancias es más intensa que la interacción electromagnética.
- A grandes distancias es despreciable (rango típico  $\sim 1\text{fm}$ ).
- No todas las partículas son afectadas: tenemos **hadrones** o **leptones**.
- A orden más bajo, es un **potencial central atractivo**



- Es aproximadamente central, aunque tiene una parte no central, como cuando vimos el momento cuadrupolar.
- Depende fuertemente del espín (lo vimos con las dispersiones). Nos dan resultados completamente diferentes si los espines eran paralelos o antiparalelos.
- Tiene simetría de “carga”, y es casi independiente de la “carga”. A la interacción le es igual si estamos tratando con un protón o un neutrón: las interacciones pp y nn son iguales ( y las diferencias con la interacción pn no se pueden explicar con la interacción electromagnética).
- Se observan propiedades de **interacción de intercambio** (interacción a través de una partícula, que transmite información, y produce cambios en la partícula que la recibe, como un fotón). ¿De donde se obtiene este dato? Del tipo de choques np. Si son dos protones o neutrones no podríamos diferenciar una colisión suave de una colisión directa. A energías altas la probabilidad entre ambas colisiones es igual, lo cual contradice el experimento de Rutherford y la intuición geométrica de la colisión. Esto se puede explicar con una partícula de intercambio que transfiera la carga de un protón a un neutrón, y haga que, desde nuestro punto de vista, la colisión vaya hacia atrás.

Hideiki Yukawa propone un potencial de intercambio para describir las características observadas de la interacción de nucleones. La versión más sencilla de un potencial esférico con una partícula de intercambio de masa  $m$  tendría rango de  $R \approx \hbar/mc$  y sería:

$$V(r) = g \frac{e^{-r/R}}{r} \quad (2.1.5)$$

Con los datos experimentales predijo que esta partícula tendría una masa 200 veces mayor que la del electrón, y la llamo mesón. Tendría espín cero y tres versiones de carga (+,-,0).