Interacció nuclear forta:
el deuteró

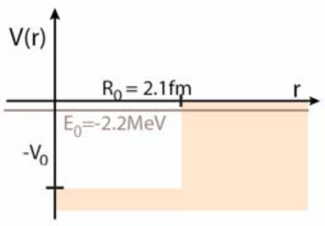
J. Planelles

El deuteró i la força forta

La energía del estado fundamental del deuterón puede determinarse, por ejemplo, a partir de experimentos en los cuales se hace incidir neutrones de baja energía sobre un material que contiene hidrógeno, como parafina. Los neutrones incidentes son capturados por los protones del blanco dando lugar a la formación de núcleos de deuterio. En este proceso se libera energía en forma de radiación γ. Midiendo la energía de los rayos γ emitidos se puede determinar en forma sencilla la energía de ligadura del deuterón. El resultado experimental es $E_d = 2.23\ MeV$. Por otro lado a través de los experimentos de dispersión de electrones mencionados en el Cap. 3 es posible determinar el radio cuadrático medio del deuterón. Se encuentra que la distancia cuadrática media neutrón-protón en el estado fundamental del deuterón $|d>$ es $r_d = \sqrt{<d|\left(|\vec{r}_p - \vec{r}_n|\right)^2|d>} = 4.2\ fm$.

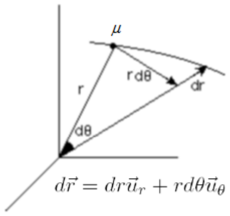
Dades per al deuteró:

E_d = 2.23 MeV
$r_{p\text{-}n}$= 4,2 fm



V_0? Molt gran?

Deuteró



$$d\vec{r} = dr\vec{u}_r + rd\theta\vec{u}_\theta$$

$$\hat{\mathcal{H}} = -\frac{\hbar^2}{2I}\left[\left(\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial}{\partial r}\right)\right) - \frac{\widehat{L^2}(\theta,\phi)}{\hbar^2}\right] + V(r)$$

$$\widehat{L^2}Y(\theta,\phi) = \ell(\ell+1)\,\hbar^2 Y(\theta,\phi)$$

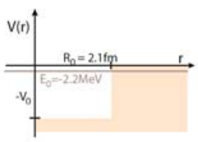
$$-\frac{\hbar^2}{2\mu}\frac{1}{r^2}\frac{d}{dr}\left(r^2\frac{d\,\psi_{n,l}(r)}{dr}\right) + \left[V(r) + \frac{\hbar^2 l(l+1)}{2\mu r^2}\right]\psi_{n,l}(r) = E_n\psi_{n,l}(r)$$

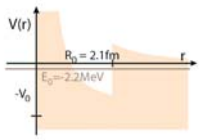
$$\boxed{\psi_{n,l}(r) = u_{n,l}(r)/r} \longrightarrow \boxed{-\frac{\hbar^2}{2\mu}\frac{d^2u}{dr^2} + \left[V(r) + \frac{\hbar^2}{2\mu}\frac{l(l+1)}{r^2}\right]u(r) = Eu(r)}$$

condicions frontera

$$u_{nl}(0) = 0 \quad \leftrightarrow \quad \psi(0) \text{ is finita}$$

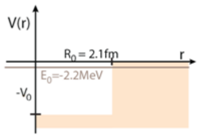
$$u_{nl}(\infty) = 0 \quad \leftrightarrow \quad \text{estat enllaçat}$$





l'estat fonamental ha de ser $l = 0$

$$\boxed{\left[-\frac{\hbar^2}{2\mu}\frac{1}{r}\frac{\partial^2}{\partial r^2} + V(r)\right]u_0(r) = E_0 u_0(r)}$$



$$\left[-\frac{\hbar^2}{2\mu}\frac{\partial^2}{\partial r^2} - V_0\right]u_0(r) = E_0 u_0(r) \qquad 0 < r < R_0$$

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2\mu}\frac{\partial^2}{\partial r^2}\right]u_0(r) = E_0 u_0(r) \qquad r > R_0$$

$E_0 < 0$

$V_0 + E_0 > 0$

$$u(r) = A\sin(kr) + B\cos(kr), \qquad 0 < r < R_0 \qquad k^2 = \frac{2\mu}{\hbar^2}(E_0 + V_0)$$

$$u(r) = Ce^{-\kappa r} + De^{\kappa r}, \qquad r > R_0 \qquad \kappa^2 = -\frac{2\mu}{\hbar^2}E_0$$

$$u_{nl}(0) = 0 \quad \leftrightarrow \quad \psi(0) \text{ is finita}$$

$$u_{nl}(\infty) = 0 \quad \leftrightarrow \quad \text{estat enllaçat}$$

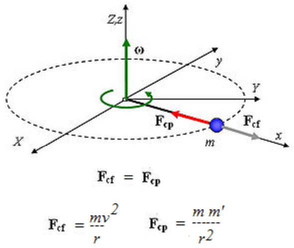
$$u_e(r) = A\sin(kr) \qquad u_e(R_0) = u_d(R_0) \qquad A\sin(kR_0) = Ce^{-\kappa R_0}$$

$$u_d(r) = Ce^{-\kappa r} \qquad u'_e(R_0) = u'_d(R_0) \qquad Ak\cos(kR_0) = -\kappa Ce^{-\kappa R_0} \longrightarrow -\kappa = k\cot(kR_0)$$

$$\longrightarrow \cot(kR_0) < 0 \rightarrow kR_0 > \frac{\pi}{2} \longrightarrow k \geq \frac{\pi}{2R_0}$$

$$k^2 = \frac{2\mu}{\hbar^2}(E_0 + V_0) \longrightarrow V_0 > \frac{\hbar^2\pi^2}{2\mu 4R_0^2} = \frac{\pi^2}{8}\frac{\hbar^2c^2}{\mu c^2 R_0^2} = \frac{\pi^2}{8}\frac{(191MeV\,fm)^2}{469MeV(2.1fm)^2} = 23.1MeV$$

1.1 eV	the energy E_G required to break a covalent bond in silicon



$$E^2 = p^2c^2 + m^2c^4$$

$$V(r) = -\frac{g^2}{4\pi}\frac{e^{-\mu r}}{r}$$

Yukawa

http://www3.uji.es/~planelle/APUNTS/QQ/Potencial_Yukawa.pdf