

p = proton
n = nøytron

$$R = R_0 \cdot A^{1/3} = \text{kjernens radius}$$

$$R_0 \approx 1.2 \cdot 10^{-15} \text{ m} = 1.2 \text{ fm} \quad (\text{fm} = \text{femtometer} = \text{fermi})$$

$$A = Z + N = \text{antall nukleoner}$$

$$Z = \text{antall protoner} = \text{atomnummeret}$$

$$N = \text{antall nøytroner}$$

$$\text{Volum: } V = \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{4}{3} \pi R_0^3 \cdot A$$

$$\text{Masse: } m \approx A \cdot u ; \quad 1u \approx 1.66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\text{Massetetthet: } \rho = m/V = 3u/4\pi R_0^3 \approx 2.3 \cdot 10^{17} \text{ kg/m}^3$$

omtrent den samme for alle kjerner

Nuklide : kjerne med gitt Z og N

Isotoper : samme Z, ulik N;

notasjon ${}^A_Z X$ (X = atomsymbolet)

Eks: ${}^{12}_6 \text{C}$, ${}^{13}_6 \text{C}$, ${}^{14}_6 \text{C}$

Spin: Både p og n er fermioner med $s = 1/2$

$$\Rightarrow \left. \begin{aligned} S &= |\vec{S}| = \sqrt{s(s+1)} \hbar = \sqrt{\frac{3}{4}} \hbar \\ S_z &= m_s \hbar = \pm \frac{1}{2} \hbar \end{aligned} \right\} \text{ som elektronet}$$

Banedreieimpuls: $L = |\vec{L}| = \sqrt{l(l+1)} \hbar ; \quad l = 0, 1, 2, \dots$
 $L_z = m \hbar ; \quad m = -l, \dots, l$

Total dreieimpuls: $\vec{J} = \vec{L} + \vec{S}$

Kjerne med A nukleoner: $\vec{J} = \sum_{i=1}^A \vec{J}_i$

Som $\vec{L}$ og $\vec{S}$ er også $\vec{J}$ kvantisert:

$$J = |\vec{J}| = \sqrt{j(j+1)} \hbar$$

$$J_z = m_j \hbar ; \quad m_j = -j, \dots, j$$

Magnetisk dipolmoment:

Kjernemagneton: $\mu_N \equiv \frac{e \hbar}{2m_p} \approx 5.05 \cdot 10^{-27} \text{ J/T}$

Protonet: $\mu_p = 2.7928 \mu_N$ ($\vec{\mu}_p$ og $\vec{S}_p$ parallelle)

Nøytronet: $\mu_n = -1.9135 \mu_N$ ($\vec{\mu}_n$ og $\vec{S}_n$ antiparallelle)

Skyldes at p og n har en indre struktur; de er ikke elementærpartikler men består av tre kvarker.

For de fleste kjerner er $|\vec{\mu}|$ av størrelsesorden noen få μ_N .

NMR : Nuclear Magnetic Resonance

MRI : Magnetic Resonance Imaging

Potensiell energi for kjerne med magnetisk dipolmoment $\vec{\mu}$ i et ytre magnetfelt $\vec{B} = B \hat{z}$:

$$V = -\vec{\mu} \cdot \vec{B} = -\mu_z B$$

som med kvantisert μ_z gir kvantiserte energinivåer.

Eks: Proton, dvs ^1H i tilstand med $l=0$ og $s=1/2$

$$\Rightarrow V \approx \pm 2.79 \mu_N B$$

$\Rightarrow$ Fotoner med energi $h\nu = 2 \cdot 2.79 \mu_N B$ kan absorberes og emitteres av slike kjerner ;
vi har da resonans.

Med f.eks. $B = 6\text{T}$:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{hc}{2 \cdot 2.79 \mu_N \cdot B} \approx 1.2\text{ m}$$

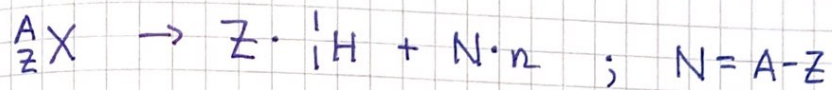
dvs radiobølger.

Prinsipp for NMR og MRI :

Protonenes omgivelser påvirker verdien av B som protonet "ser". Gir resonans for ulike fotonbølglengder λ , avhengig av omgivelsene.
Dermed blir avbildning mulig.

(90)

Bindingsenergi: Endringen i hvileenergi når
atomet ${}^A_Z X$ tenkes oppdelt i Z hydrogenatomer ${}^1_1 H$
og N nøytroner. Dvs:



$$E_B = \{ Z \cdot M_H + N \cdot m_n - M_X \} \cdot c^2$$

Eks: Deuterium, ${}^2_1 H$. Masse 2.014102 u. $E_B = ?$

$$M_H = 1.007825 \text{ u}, \quad m_n = 1.008665 \text{ u}$$

$$\begin{aligned} \text{Løsn: } E_B &= c^2 \cdot u \cdot \{ 1.007825 + 1.008665 - 2.014102 \} \\ &= 0.002388 c^2 u \approx 3.6 \cdot 10^{-13} \text{ J} \approx \underline{\underline{2.2 \text{ MeV}}} \end{aligned}$$

$$(1 u \cdot c^2 \approx 931.494 \text{ MeV})$$

Eks: ${}^{62}_{28} \text{Ni}$. Masse 61.928349 u.

$$\begin{aligned} \Rightarrow E_B &= 931.494 \text{ MeV} \cdot \{ 28 \cdot 1.007825 + 34 \cdot 1.008665 \\ &\quad - 61.928349 \} \\ &\approx 545 \text{ MeV} \end{aligned}$$

Pr nukleon: ca 8.8 MeV (høyeste kjente E_B/A)

Empiriske modeller for kjerners bindingsenergi:

- Væskedråpemodellen
- Skallmodellen

(les selv om disse; ikke pensum.)