

Curso Introdução a Física Nuclear I (2023)

Lista de exercícios 1

1) O tamanho de um núcleo pode ser determinado por espalhamento de elétrons e pelos níveis de energia de um átomo múnico (átomo de hidrogênio com um muon ao invés de um elétron). Discuta quais quantidades devem ser medidas em cada uma dessas opções e como elas estão relacionadas ao raio do núcleo. Para o 1) considere o fator de forma e para 2) considere que o próton como uma esfera uniformemente carregada.

$$V(r) = \begin{cases} -\frac{e^2}{2R^3}(3R^2 - r^2), & 0 < r \leq R, \\ -\frac{e^2}{r}, & r > R. \end{cases}$$

Dica: use que

$$\Delta E = \langle \Phi_0 | H' | \Phi_0 \rangle \quad \Phi_0 = \left(\frac{1}{\pi a_\mu^3} \right)^{1/2} e^{-\frac{r}{a_\mu}}. \quad R \sim 10^{-12} \text{ cm}, \quad a_\mu \sim 10^{-10} \text{ cm},$$

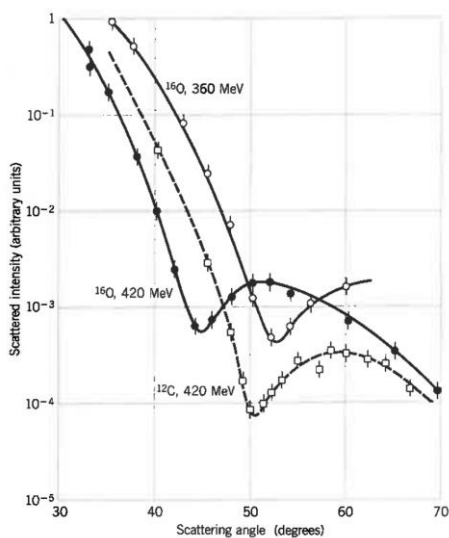
E portanto:

$$e^{-2r/a_\mu} \approx \left(1 - \frac{2r}{a_\mu} \right)$$

2) Considere a distribuição angular para o espalhamento de elétrons pelos núcleos de ^{16}O e ^{12}C , figura abaixo. Determine o raio desses núcleos considerando o critério de resolução de Rayleigh ($\theta = \sin^{-1} \left(1.22 \frac{\lambda}{D} \right)$) e pelos máximos e mínimos da difração:

$\Delta(qR) \simeq \pi$ com o momento transferido dado por:

$$|\vec{q}| = q = 2k \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) = 2\frac{p}{\hbar} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{2}{\lambda} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$$



Para os próximos exercícios 3), 4), 5), 6) e 7) considere a seguinte fórmula semiempírica de massa:

$$B(Z, A) = B_v + B_s + B_e + B_a + B_p = a_v A - a_s A^{2/3} - a_e Z^2 A^{-1/3} - a_a \left(\frac{A}{2} - Z \right)^2 A^{-1} + a_p \delta A^{-1/2},$$

$$a_v = 15.835 \text{ MeV}, \quad a_s = 18.33 \text{ MeV}, \quad a_e = 0.714 \text{ MeV},$$

$$a_a = 92.80 \text{ MeV}, \quad a_p = 11.20 \text{ MeV}.$$

$$\delta = \begin{cases} 1 & \text{for even-even nucleus,} \\ 0 & \text{for odd-even or even-odd nucleus,} \\ -1 & \text{for odd-odd nucleus.} \end{cases}$$

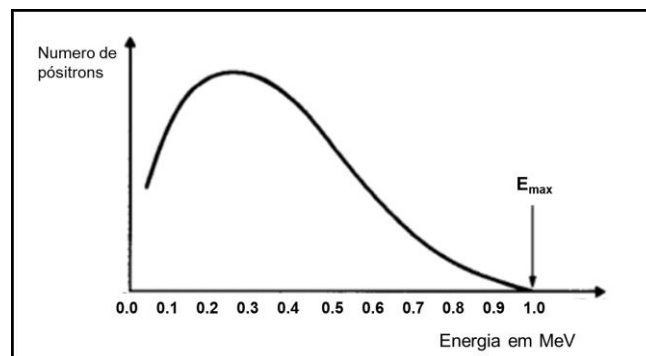
3) Mostre que a equação da energia de ligação é uma parábola para uma dada massa A (cadeia isobárica) e determine o valor de Z_{\min} . Essa equação fornecerá três parábolas devido ao termo de emparelhamento.

4) Obtenha o valor de Z_A que fornece a maior energia de ligação para $A = 157, 156$ e 75 . Indique quais os núcleos eles poderiam se referir.

5) Calcule a energia de ligação por nucleon para o ^{15}N e ^{148}Gd .

6) Determine uma expressão para a energia necessária para arrancar um nêutron de um núcleo em função das energias de ligação. Qual energia para remover um nêutron do ^{40}Ca ?

7) O ^{11}C decai por emissão de pósitron para o ^{11}B . Descreva a equação para esse decaimento. Por que precisamos ter um neutrino para nesse decaimento? A partir das informações que podem ser obtidas da figura abaixo, determine o valor do termo coulombiano (a_c) da equação empírica de massa. (despreze a massa do neutrino e considere massa do eletron como 0.511 MeV)



8) Cite (3) das principais características de cada um dos seguintes modelos nucleares: gota-liquida, camadas e modelo coletivo.

9) Considerando o termo de spin-orbita, caracterize as duas primeiras camadas de acordo com o números quânticos n, l e j . Considere o nível correspondente a uma camada fechada mais um próton com momento angular l e j com $j=l \pm \frac{1}{2}$. Seja g_p o valor do fator giromagnético de um próton livre.

Determine o fator giromagnético do nível em questão para os dois casos, $j=l - \frac{1}{2}$ e $j=l + \frac{1}{2}$ com $l=1$.

10) Mostre que para uma dada órbita nuclear caracterizada por um dado valor de j , existem no máximo $2j + 1$ núcleons. Este resultado é consistente com o Princípio de Pauli?

11) O nível de energia em 3 dimensões para um oscilador harmônico isotrópico é dado por:

$$E = (2n + l + 3/2)\hbar\omega = \left(N + \frac{3}{2}\right)\hbar\omega$$

No modelo de partícula única o termo $\hbar\omega$ pode ser ajustado por $44A^{-1/3}$.

- Desenhe o esquema de níveis sem a perturbação e com a perturbação do termo spin-orbita (apenas considere que os estados se desdobram devido ao termo spin-orbita, não precisa calcular a energia de desdobramento).
- Com base no modelo de camadas determine o spin e paridade do estado fundamental para os seguintes núcleos ${}^3\text{He}$, ${}^{17}\text{O}$, ${}^{34}\text{K}$ e ${}^{41}\text{Ca}$.
- Qual a diferença de energia entre as camadas $N=1$ e $N=2$ para o ${}^3\text{He}$ e para o ${}^{41}\text{Ca}$.

12) De acordo com o modelo de camadas com termo de spin-orbita.

- Qual seria o spin-paridade e isospin dos estados fundamentais dos núcleos ${}^{13}\text{B}$, ${}^{13}\text{C}$ e ${}^{13}\text{N}$?
- Qual a ordem desses núcleos da cadeia isobárica $A=13$ de acordo com suas massas, justifique.
- Considerando que a energia de uma esfera uniformemente carregada é dada pela energia eletrostática $W=3Q^2/5R$, estime a diferença de energia entre os membros da cadeia isobárica $A=13$.

13) Discuta a estabilidade dos núcleos ${}^{30}\text{P}$, ${}^{98}\text{Tc}$, ${}^{118}\text{Sn}$ e ${}^{239}\text{Pu}$.

14) Utilizando o modelo de camadas qual seria a ordem dos orbitais para ${}^9\text{Be}$, ${}^{31}\text{P}$, ${}^{59}\text{Co}$

15) A figura abaixo fornece os valores de energia, spin e paridade para os primeiros estados excitados do ^{18}O .

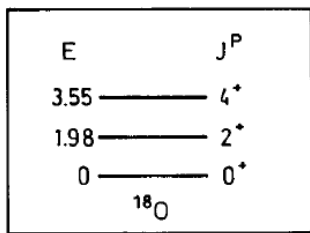


Fig. 2.19

- Os spin e paridade informados correspondem ao que se esperaria do modelo de camadas?
- Quais spin e paridade você esperaria para os primeiros estados do ^{19}O ?
- Considere um núcleo ^{18}O fictício com os estados $J^P=0^+$, 2^+ e 4^+ . Se esses estados correspondem a estados rotacionais, sendo que o primeiro estado excitado com energia 2.0 MeV, qual seria a energia do segundo estado excitado e qual o momento de inércia desse núcleo.
- Considere agora um núcleo fictício ^{19}O , com uma deformação e com o mesmo momento de inércia do ^{18}O , qual seria a energia dos 3 primeiros estados, considerando que sejam estados rotacionais.

16) Derive a Lei de decaimento radioativo. Determine a atividade de uma grama de ^{226}Ra , sabendo que sua meia vida é 1622 anos.

17) O ^{22}Na é um importante elemento radioativo produzido numa explosão de nova. Esse elemento possui uma meia vida de 2.6 anos. Quanto tempo é necessário para que 5 mg de ^{22}Na se reduza a 1mg?

18) Considere um decaimento sequencial onde um núcleo 1 decai para um núcleo 2 que por sua vez decai para um núcleo 3. Cada decaimento possui uma constante de decaimento diferente. Considerando que a quantidade de núcleo 2 no tempo $t=0$ é nula qual é o tempo para que possamos ter o máximo de núcleos 2?

19) O núcleo ^{38}Cl decai por beta. Os elétrons são emitidos com energias 1.11, 2.77 e 4.81 MeV. Além disso dois raios-gama são observados no decaimento com energias 2.16 e 1.59 MeV. Monte o esquema de desintegração.