



Elementos de Física Nuclear

EE300U

Prof. Romis Attux

Núcleo Atômico

- Conforme vimos no capítulo 6, com os experimentos de Rutherford, Geiger e Marsden, chegou-se à idéia de núcleo atômico, sede da carga positiva e de boa parte da massa do átomo. Esse núcleo tem dimensão bem menor que a do átomo como um todo.
- Consideraremos aqui o núcleo como sendo composto de prótons e nêutrons. O número de massa A de um núcleo é, portanto, dado pela soma do número de prótons e do número de nêutrons: $A = Z + N$.

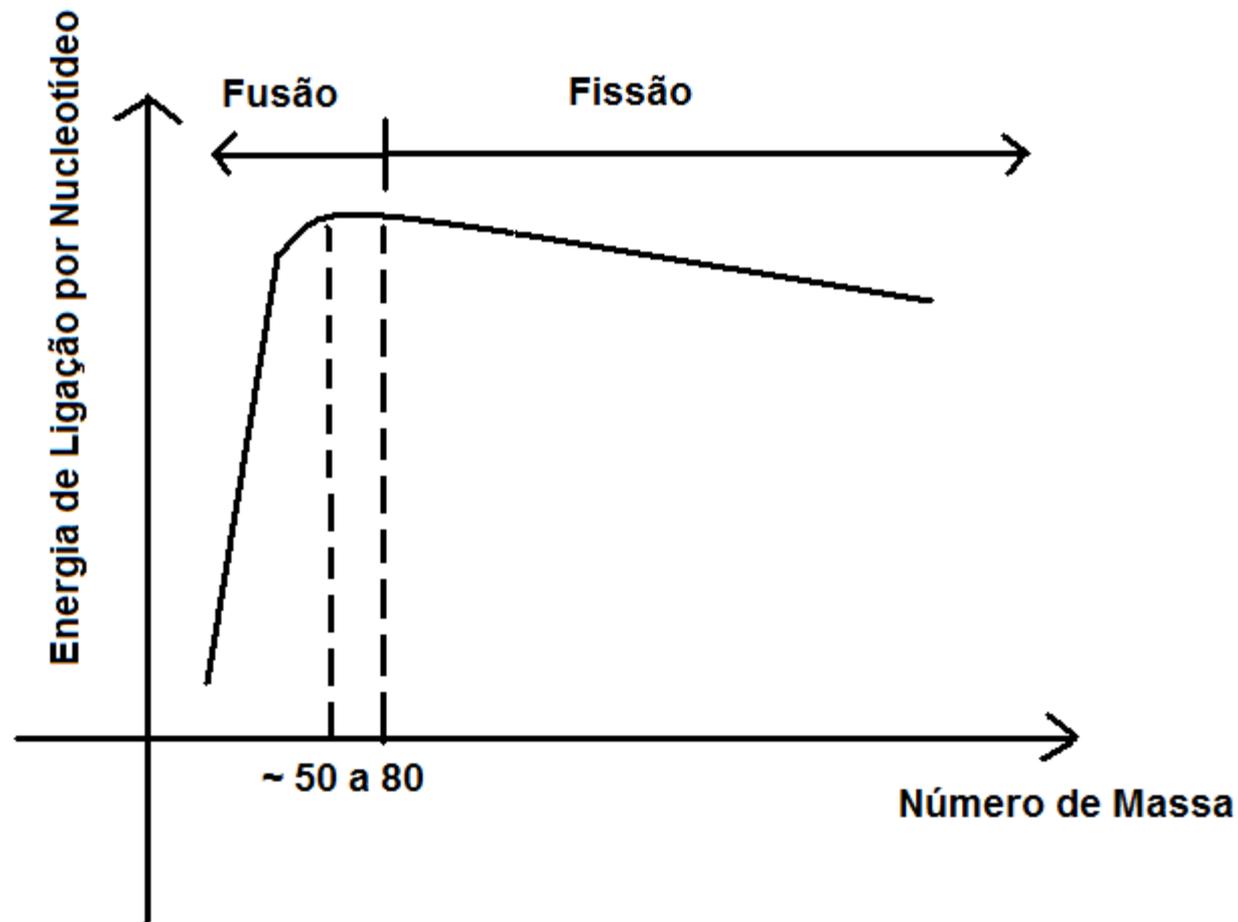
Isótopos

- Elementos com o mesmo número atômico, mas com diferentes números de massa, são chamados isótopos.
- Alguns elementos possuem isótopos não-estáveis, que podem decair e originar outros elementos.
- Núcleos estáveis leves possuem aproximadamente $Z = N$, enquanto núcleos mais pesados possuem $N > Z$ [Halliday e Resnick, 1994].

Energia de Ligação

- Se analisarmos a diferença entre a soma das massas dos nucleotídeos (prótons e nêutrons) de um núcleo atômico e a massa do núcleo atômico em si, teremos como calcular, pela relação de Einstein $E_{\text{lig}} = \Delta mc^2$, a energia de ligação associada ao núcleo.
- Podemos então dividir essa energia pelo número de nucleotídeos que compõem o núcleo e realizar uma curva dessa razão pelo número de massa A .

Curva – Energia de Ligação por Nucleotídeo



Curva – Energia de Ligação por Nucleotídeo

- Perceba que a curva mostra que, para números de massa relativamente pequenos, o processo de fusão tende a produzir energia, enquanto, para números de massa maiores, o processo viável para gerar energia é a fissão [Halliday e Resnick, 1994].

Fissão

- Analisemos primeiro um caso hipotético de fissão. Suponha que um elemento com número de massa $A = 200$ se decomponha em dois núcleos, cada qual com $A = 100$.
- Para o primeiro elemento (X), temos:
prótons + nêutrons \rightarrow ^{200}X $E = E_1$
- Para o segundo (Y), temos:
prótons + nêutrons \rightarrow ^{100}Y $E = E_2$

Fissão

- Para que tenhamos a reação de fissão, ou seja, $^{200}\text{X} \rightarrow ^{100}\text{Y} + ^{100}\text{Y}$, é preciso “inverter a primeira reação”, o que nos leva a uma energia $E = -E_1 + 2E_2$. Como, pela curva apresentada, a energia de ligação por nucleotídeo é menor para X, temos que $E > 0$, ou seja, como já dissemos, a reação libera energia.

Fissão

- Conforme indicado em [Halliday e Resnick, 1994], uma reação usual de fissão corresponde à absorção de um nêutron por um núcleo de urânio com $A = 235$, dando origem a um núcleo altamente excitado com $A = 236$. O núcleo excitado então sofre a fissão, gerando núcleos menores e nêutrons e liberando energia.

Fusão

- No caso de fusão nuclear, ocorre o processo contrário: ganha-se energia por meio da geração de um “núcleo maior” a partir da “junção” de núcleos menores.
- Um exemplo clássico é o processo pelo qual hidrogênio se transforma em hélio, processo que tem um papel muito relevante para a liberação de energia pelo sol.
- O processo de fusão ainda não é empregado para geração controlada de energia em larga escala, como ocorre para o processo de fissão. A criação de uma tecnologia desse tipo pode vir a ter enorme relevância prática, embora as escalas de energia envolvidas exijam sempre grande cautela.

Decaimento Radioativo

- Outro processo ligado à física nuclear que é de nosso interesse aqui é o processo conhecido como *decaimento radioativo*.
- Podemos entender o processo de decaimento como um processo espontâneo de emissão que leva à modificação do núcleo emissor.

Modelo Estatístico

- Embora não seja adequado buscar modelos determinísticos para estipular se um determinado núcleo decairá num certo intervalo de tempo, estatisticamente, é possível modelar o processo de maneira bastante sólida [Halliday e Resnick, 1994].
- Uma forma clássica de fazer isso é supor que, para uma amostra composta por N núcleos radioativos, a taxa de decaimento $-dN/dt$ é proporcional ao próprio valor de N .
- Isso leva a uma expressão do tipo $N = N_0 \exp(-\lambda t)$, sendo N_0 o número de núcleos presentes inicialmente numa amostra [Halliday e Resnick, 1994].

Meia-Vida

- Desse modelo, surge um conceito importante: o de *meia-vida*, ou seja, do tempo necessário até que o número de núcleos presentes numa amostra caia pela metade. Fazendo $N = N_0/2$, vemos que a meia-vida é dada por $MV = (\ln 2)/\lambda$.
- Perceba que, conhecendo a meia-vida associada a um certo processo de decaimento, passa a ser possível usar essa informação para datar eventos.

Meia-Vida e Datação

- Um exemplo clássico nesse sentido é a datação por carbono-14 (^{14}C). Esse isótopo é produzido constantemente na atmosfera e sua proporção – relativamente ao isótopo mais comum, o ^{12}C – é aproximadamente constante para os seres vivos.
- Quando o organismo morre, cessa o intercâmbio de carbono, e, portanto, o decaimento do ^{14}C leva a uma redução gradativa da presença desse isótopo. Analisando, para um espécime, a proporção de ^{14}C nele presente, é possível inferir há quanto tempo ocorreu a sua morte (uma vez que a meia-vida do decaimento do isótopo é conhecida).

Decaimento Alfa

- Um primeiro tipo de decaimento que analisaremos é o decaimento alfa. Basicamente, num processo de decaimento desse tipo, um núcleo emite uma partícula alfa e se converte num núcleo com outro número atômico (Z). Por exemplo [Halliday e Resnick, 1994]:



- Note que a partícula alfa corresponde a um núcleo de hélio, ou seja, é formada por dois prótons e dois nêutrons. No decaimento acima, houve a conversão do núcleo de urânio em tório e a liberação de energia (lembre-se da curva de energia de ligação vista anteriormente). A meia-vida do decaimento é de mais de um bilhão de anos.

Decaimento Beta

- No caso do decaimento beta, ocorre uma emissão espontânea de um elétron (ou de um anti-elétron / pósitron) por um núcleo.
- Um exemplo seria o processo a seguir [Halliday e Resnick, 1994]:
$$^{32}\text{P} \rightarrow ^{32}\text{S} + e^{-} + \nu$$
- Na reação, ν corresponde a um neutrino. Perceba que o “surgimento” de um elétron força uma mudança no número atômico do núcleo resultante. A meia-vida desse processo é de quase 15 dias.

Bibliografia

- **D. Halliday, R. Resnick,** *Fundamentos da Física*, LTC, 1994.
- **K. Krane,** *Modern Physics*, Wiley, 1983.