

Estabilidade atômica

Em Física Microscópica postula-se o princípio de energia mínima.

Os átomos ou moléculas, os núcleos atômicos, as partículas elementares são (em geral) estáveis no seu estado de energia mínima, E_0 , o estado fundamental.

Devido à quantificação, só valores específicos de energia $E_n > E_0$ permitem estabilidade

→ só podem ocorrer transições entre o estado fundamental e outros níveis de energia, os estados excitados, com valores de energia bem definidos: $\Delta E_n = n h \nu$.

Do prº incerteza $\Delta E \Delta t = \hbar \Leftrightarrow \Delta E \Delta x = \hbar c = 197 \text{ MeV} \cdot \text{fm}$

Como as dimensões típicas de átomos e núcleos são:

Átomo: $\Delta x \sim 1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$

Núcleo: $\Delta x \sim 1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$

há 5 ordens de grandeza entre as energias típicas.

Átomos

camadas internas $\sim \text{keV}$

camadas externas $\sim \text{eV}$

Núcleos

$\sim \text{MeV}$

Exº: Iodo (do detector de NaI – iodeto de sódio, cristal cintilador que será usado nos trabalhos)

$^{127}_{53}\text{I}$ – energias de ligação das camadas atómicas:

K : 30 keV

L : 5 keV

M : < 1 keV

=> só electrões das camadas atómicas internas contribuem, ao serem removidos do átomo – ionização –, para a energia total do fenómeno em estudo, a energia da radiação ou partícula incidente.

Estabilidade Nuclear

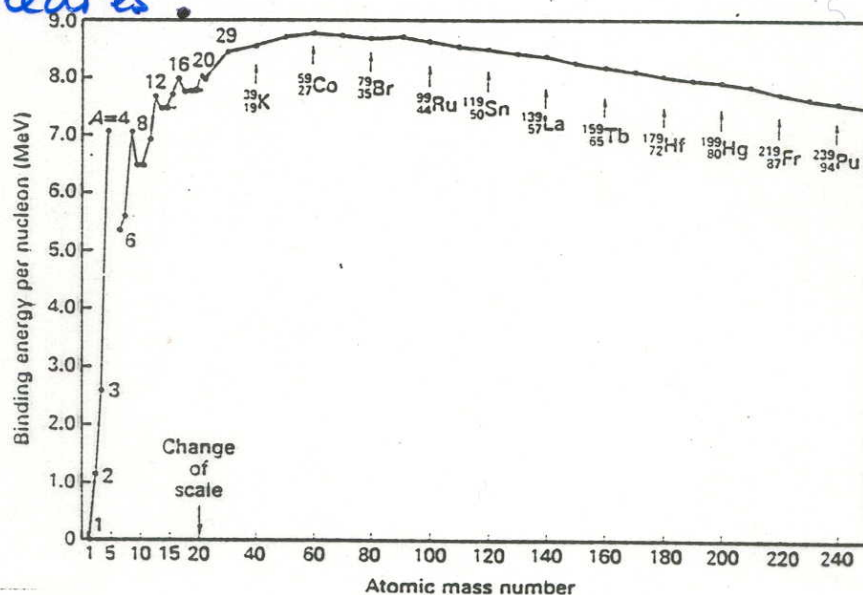
A medida que o número de massa, A , aumenta, os núclídeos (espécies nucleares) estáveis afastam-se da diagonal $Z = N$ ($Z \equiv n^\circ$ atômico = n° prótons; $N = n^\circ$ nêutrons), devido ao efeito repulsivo crescente dos prótons.

$\Rightarrow$ núclídeos estáveis de A intermédio e alto: $N > Z$

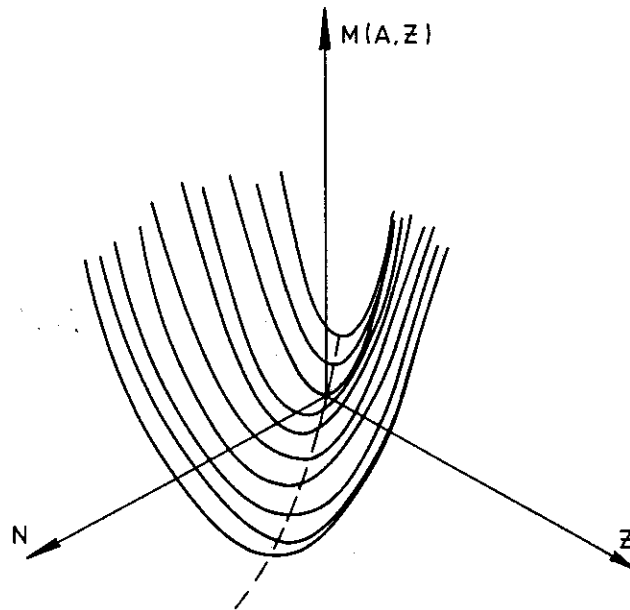
$\rightarrow$ ver figuras

Verificam-se desvios às propriedades médias esperadas dos núclídeos (volume, energia de ligação).

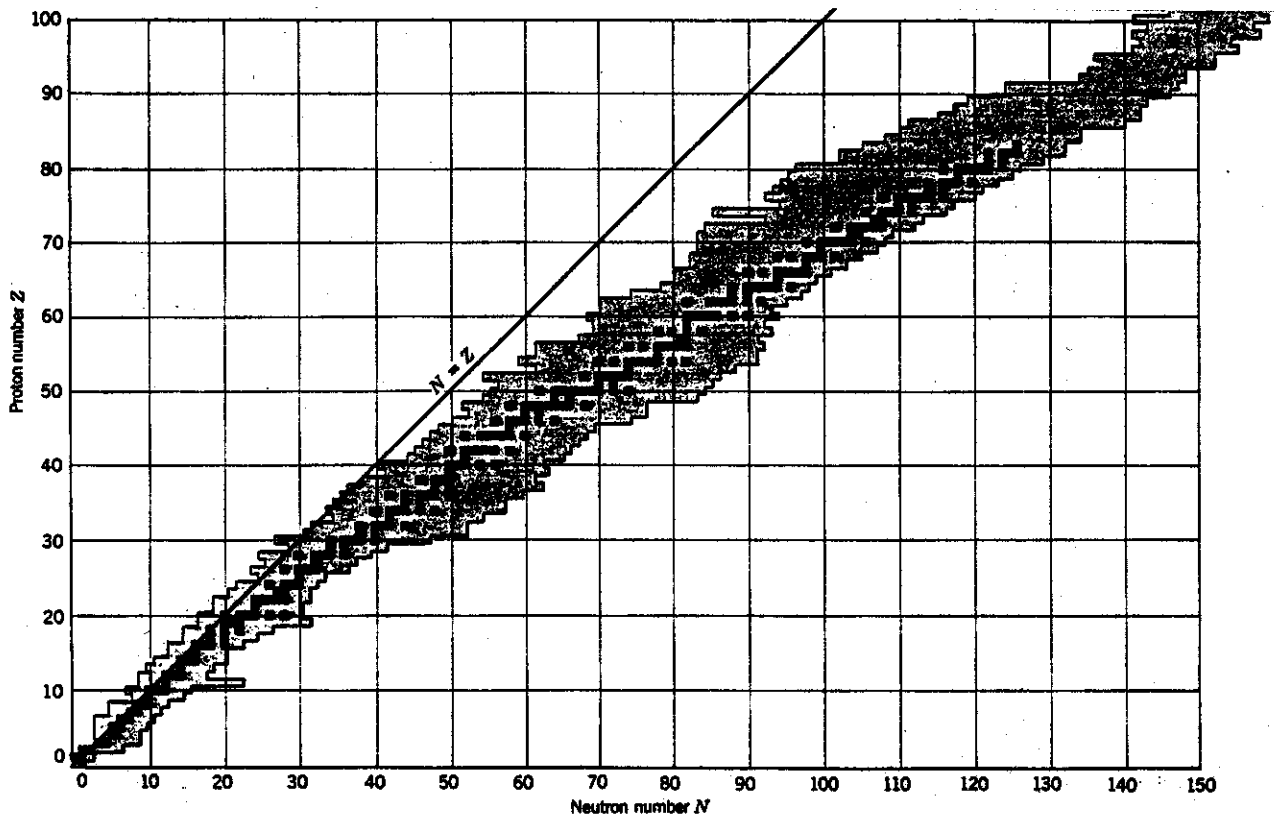
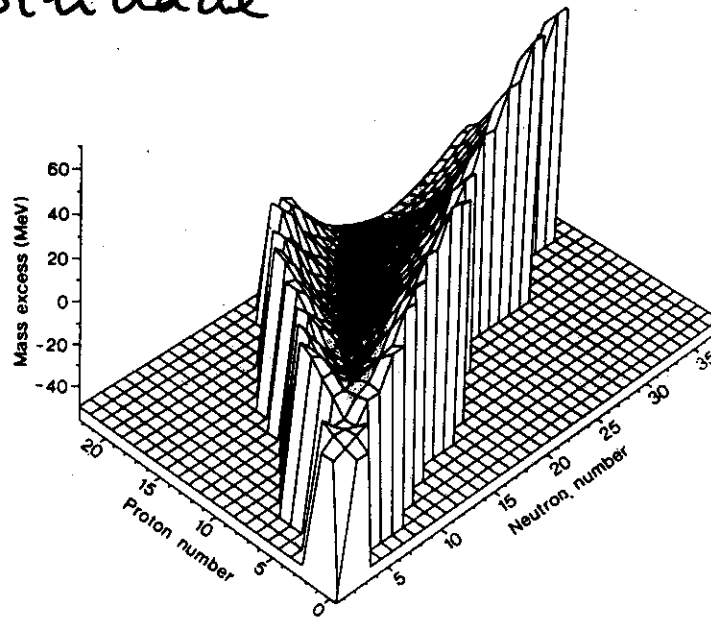
Por exemplo, a energia de ligação por nucleão (próton ou nêutron) em função do n° massa A exhibe picos em certos valores $\Rightarrow$ maior estabilidade para certos Z e/ou N : "números mágicos" nucleares.



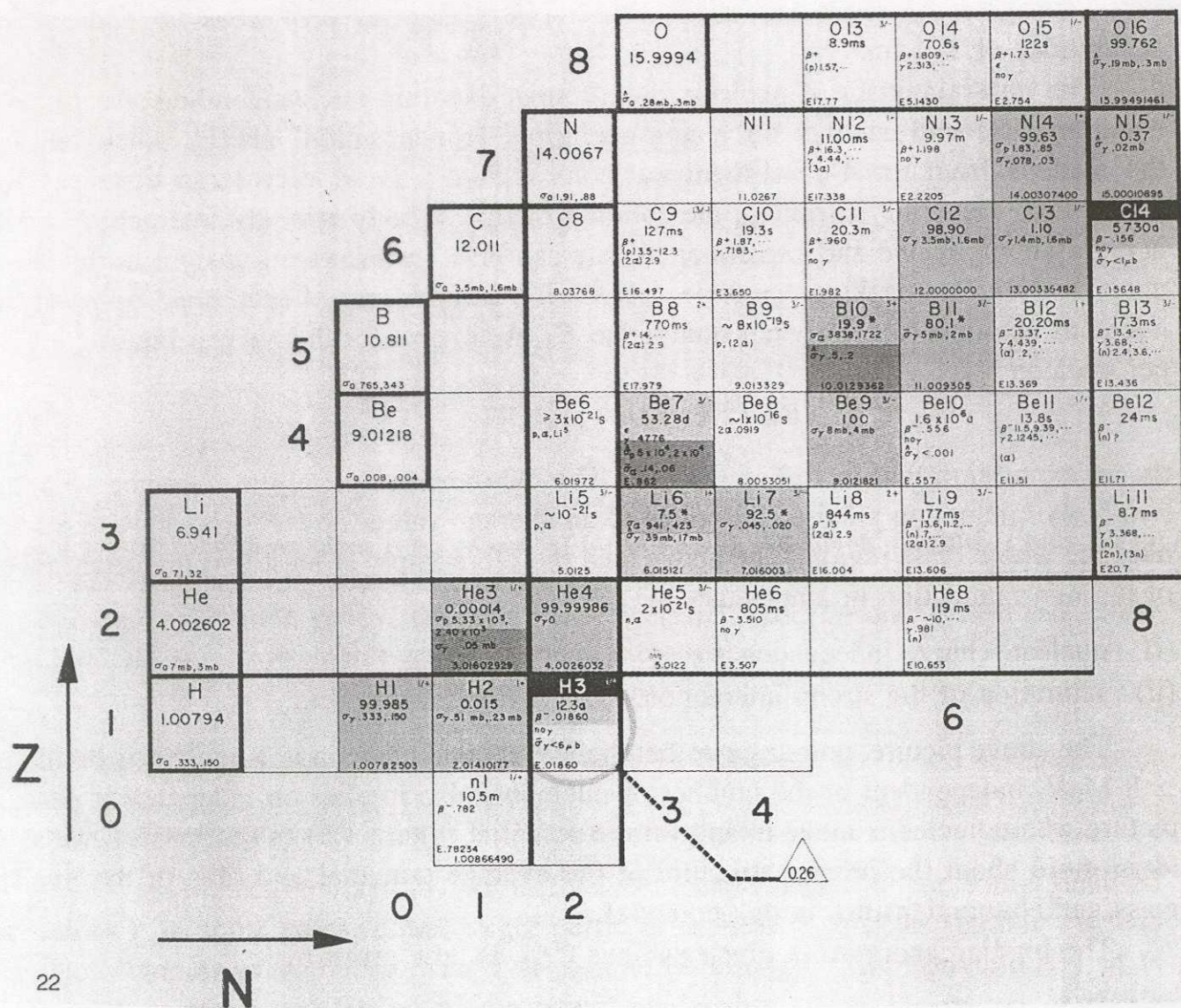
$\Rightarrow$ Grande estabilidade de ^4He .



① vale de estabilidade nuclear



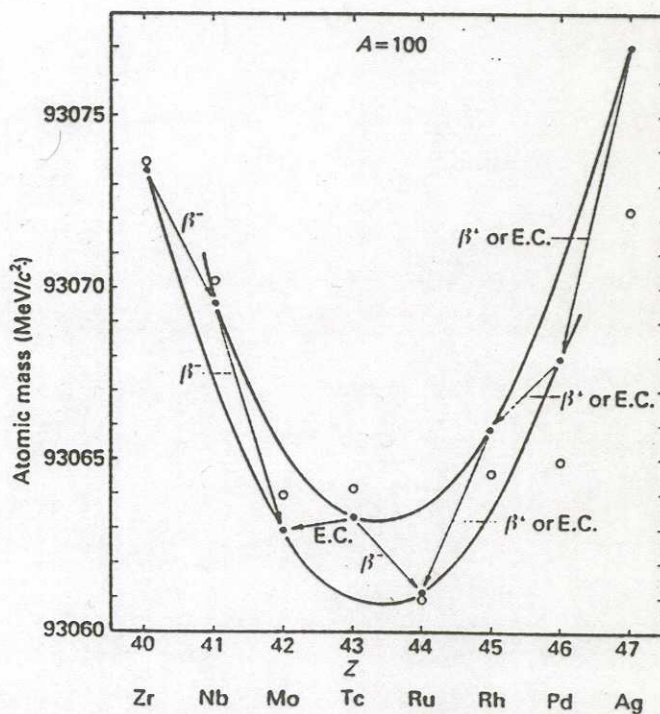
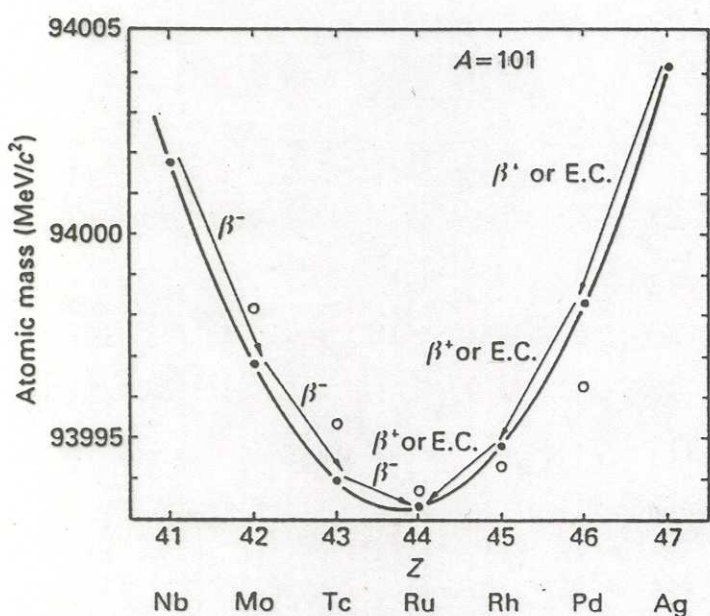
Afastamento da diagonal $N = Z$ para núcleos pesados



Seção da carta de espécies nucleares para núclídeos leves

Transição para a estabilidade

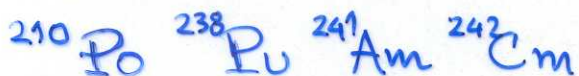
- Emissão β^- (β^+) permite a um núclideo de massa intermédia, mantendo A constante, "subir" ("descer") em Z para encontrar uma posição estável. → ver figuras
- Para grandes A ocorre também a emissão de núcleos de hélio, ${}^4\text{He} \equiv$ partículas α .



DESINTEGRAÇÕES NUCLEARES

Decaimento α

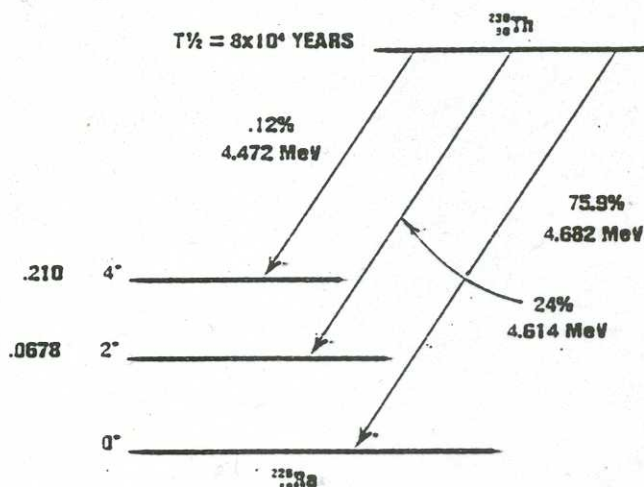
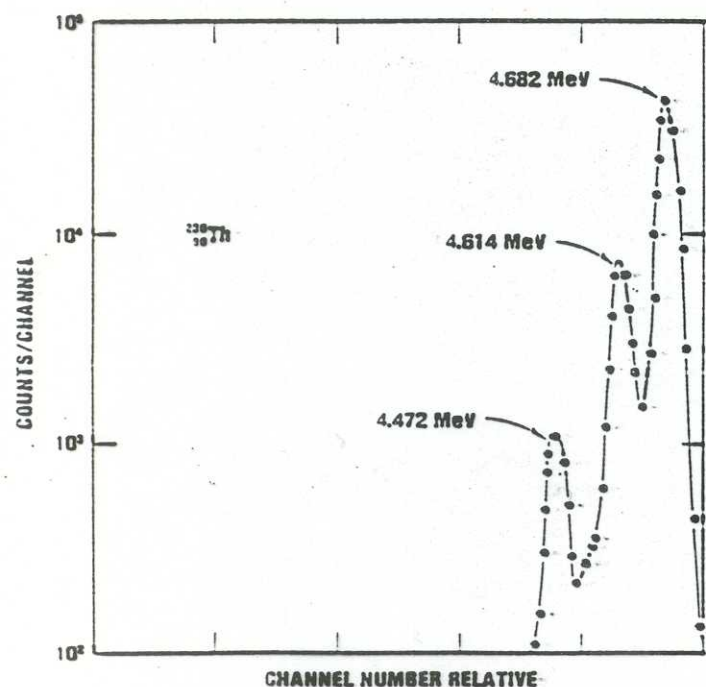
Dá-se em núclídeos pesados :



Trata-se da emissão de um núcleo de ^4He (= 2 prótons + 2 nêutrons) por efeito de túnel.

Dada a grande estabilidade de ^4He , a sua emissão **coerente** é energeticamente mais vantajosa que a emissão de nucleões isolados.

o núclídeo muda de identidade :



Só a partícula α é emitida
 $\Rightarrow$ espectro de energia é discreto.

Energias típicas são da ordem de
 $\sim 4-6 \text{ MeV}$

pois a transmissão em barreiras de potencial é função da energia.

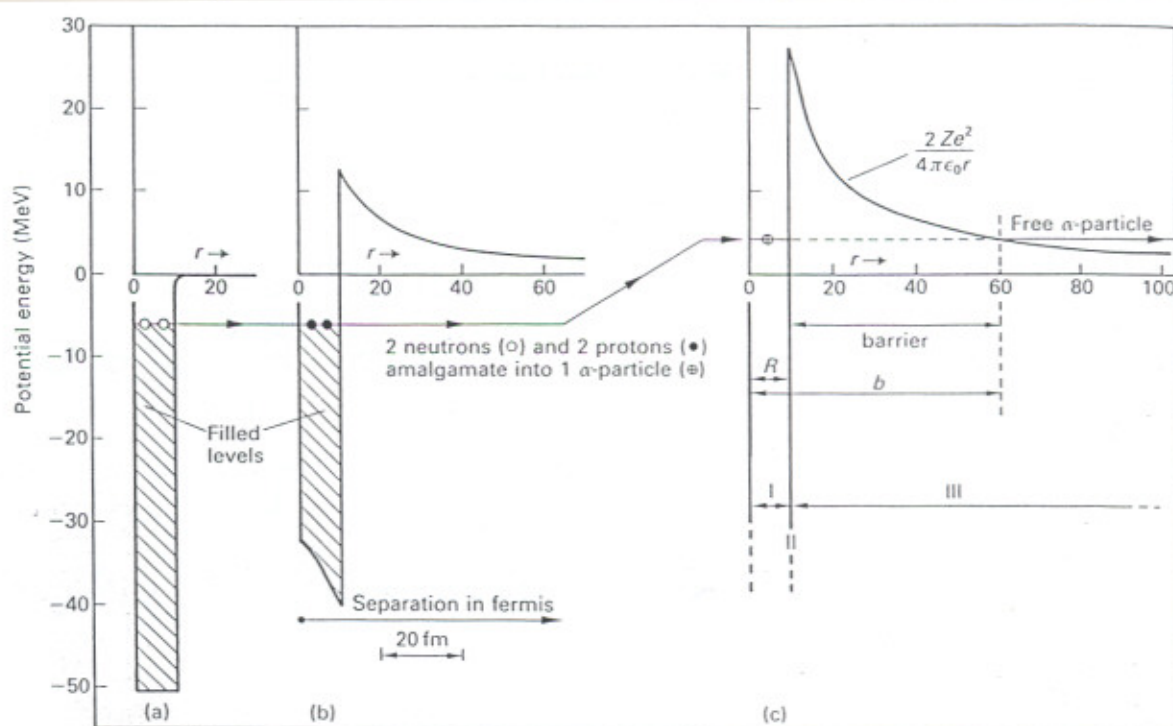
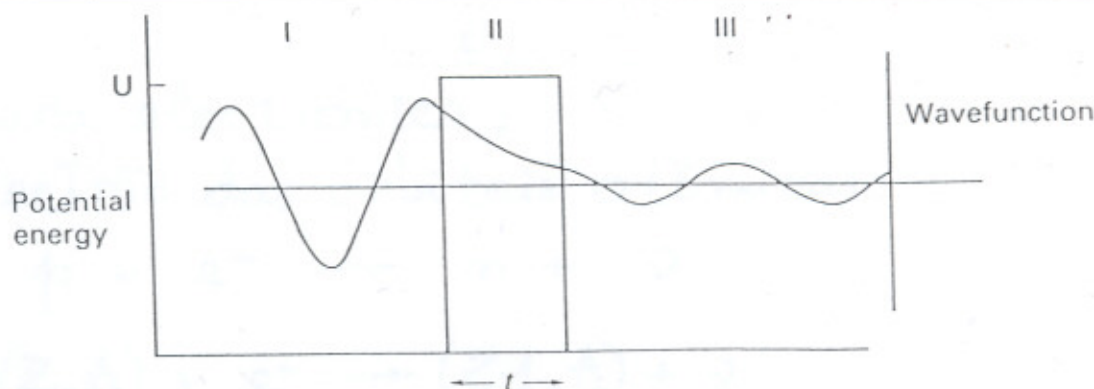


Fig. 6.2 Diagrams of the form of the potential energy versus distance r from the nuclear centre for (a) neutrons and (b) protons in and near a nucleus of $Z=90$, $A \approx 236$. The changing of two protons and two neutrons as they amalgamate to form

an α -particle is shown. If an α -particle is formed, then it is presumed to have a potential energy as a function of distance, as shown in (c). The regions I, II, and III are described in the text.

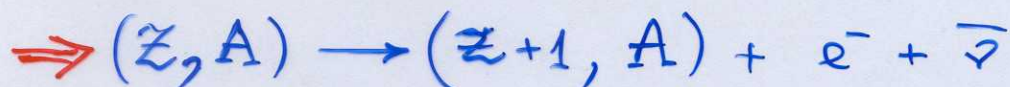
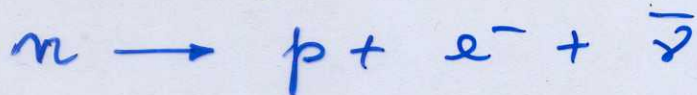
• Probabilidade de transmissão p/ efeito de túnel:

$$T(E) \approx e^{-2Kt}, \quad \text{e} \quad K = \frac{1}{\hbar} \sqrt{2M(U-E)}$$

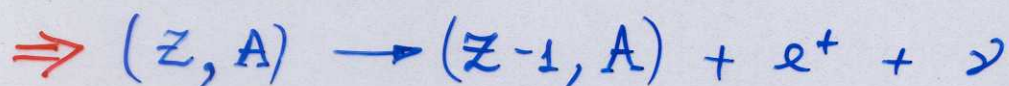
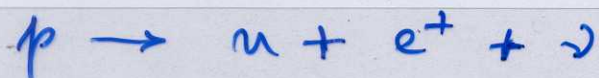


Decaimento β

- Num nuclídeo rico em neutrões ocorre o decaimento β^- :

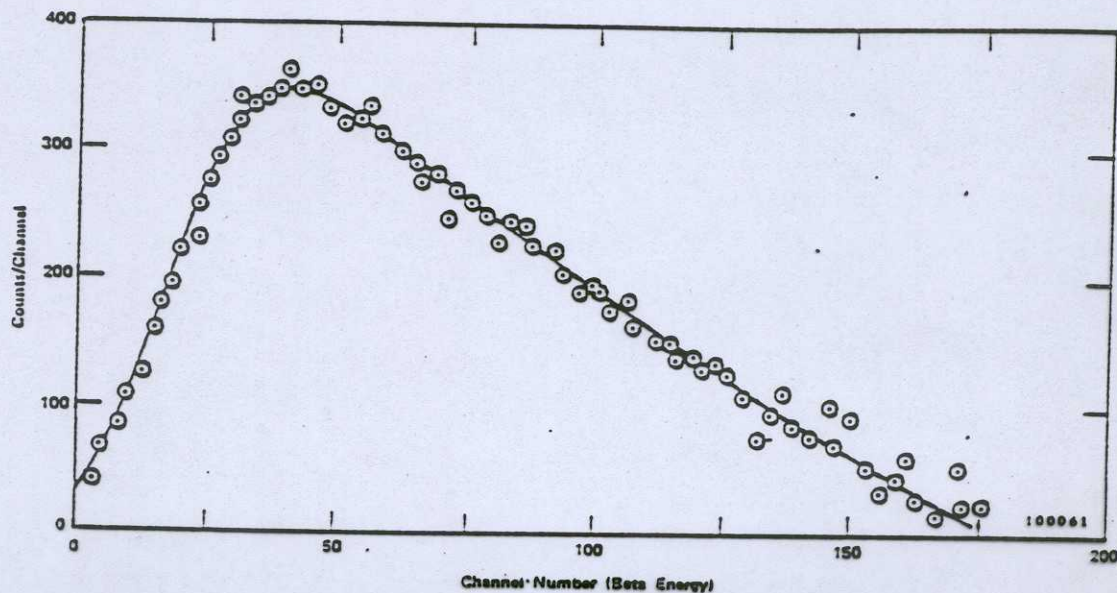
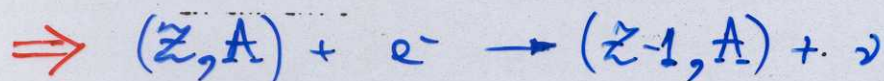


- Num nuclídeo rico em prótons dá-se a desintegração β^+ :



ou dá-se a:

captura electrónica, em que o núcleo capta um electrão das orbitais atómicas:



As emissões β^- e β^+ são processos a 2 corpos no estado final (+ núclídeo final, que recua ligeiramente) $\Rightarrow$ partilha de energia entre o electrão (positrão) e o antineutrino (neutrino).

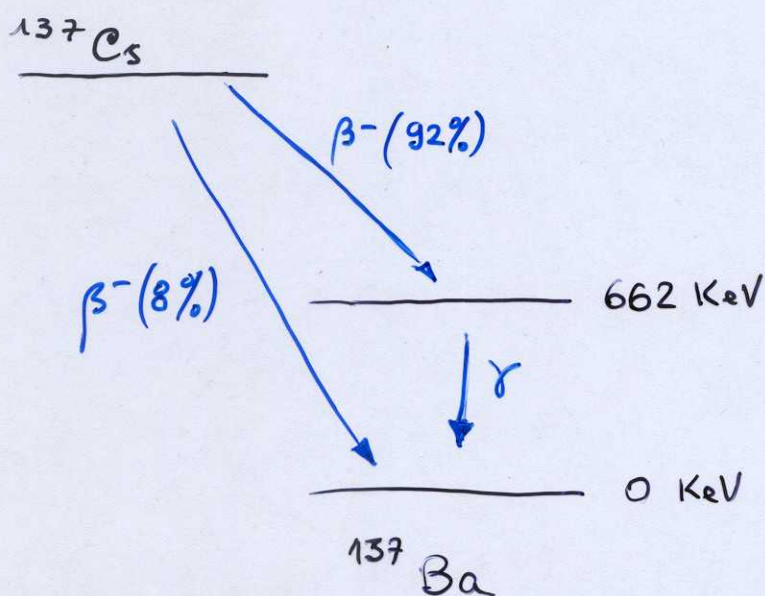
$\Rightarrow$ espectro de energia contínuo para o e^- (e^+) com um valor máximo característico da desintegração em jogo desse núclídeo (β "end-point").

$\rightarrow$ ver figura

Há núclídeos que decaem para mais que um estado final do núclídeo-filho.

Neste caso, há lugar a diversos espectros contínuos de energia, que se sobrepõem de acordo com as suas probabilidades de decaimento

$\Rightarrow$ diversos "end-point"



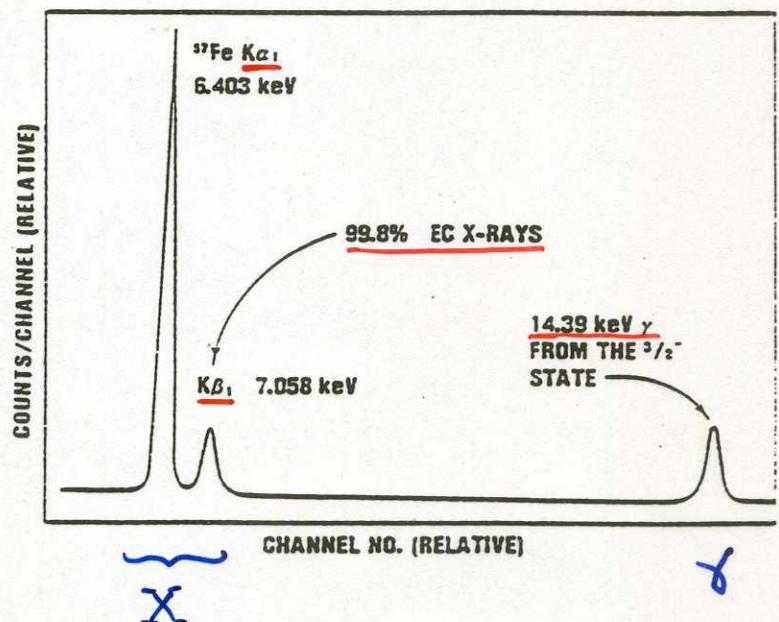
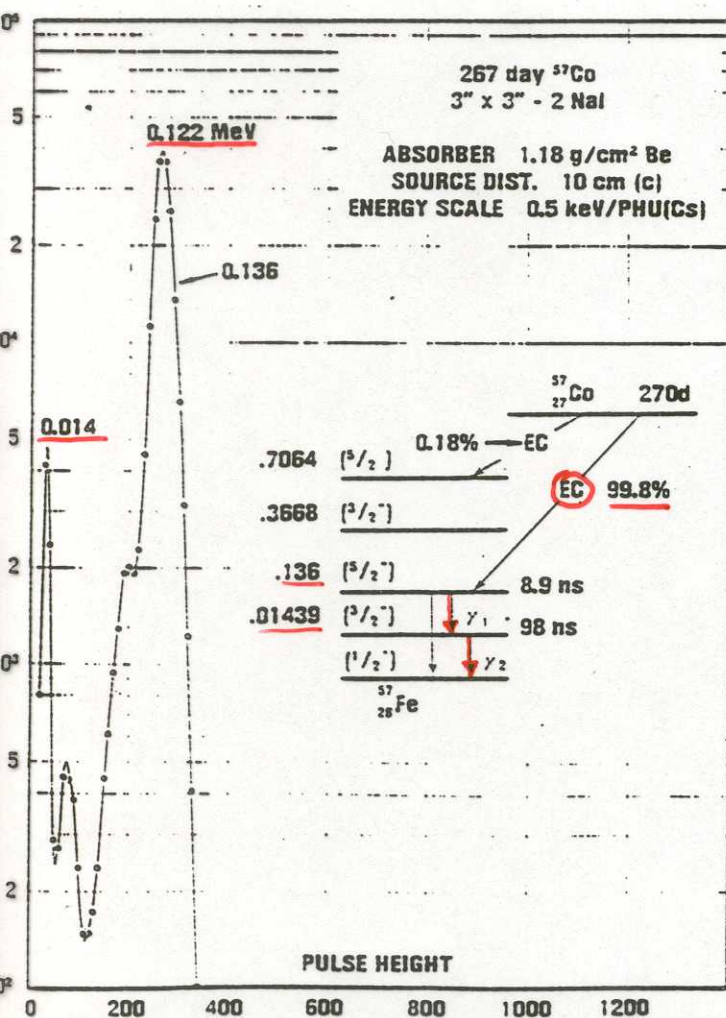
Na captura electrónica há emissão de uma só partícula: o neutrino, de muito difícil detecção... $\Rightarrow$ impossível a observação directa deste modo de decaimento.

Mas, por reordenação dos electrões atómicos, dá-se a emissão de radiação X, conjunto de picos tais que

$$E_X = \phi_L - \phi_K, \text{ ou } \phi_M - \phi_L, \dots$$

ou, de maneira concorrente, de electrões Auger, também monocinéticos.

• E_X e $E_{\text{Auger}} < \text{alguns keV}$



Emissão γ

Resulta da transição dos níveis de energia nucleares mais energéticos dos núcleos-filhos para o estado fundamental, directamente ou em cascata.

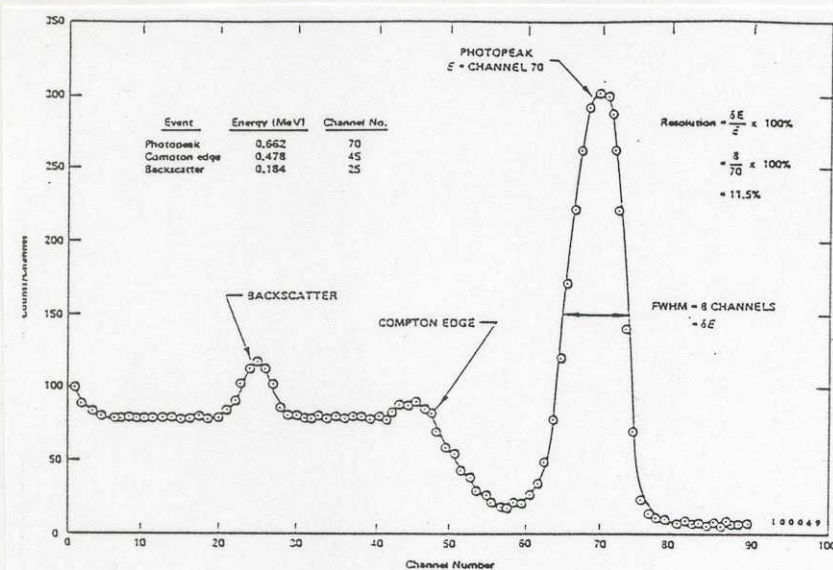
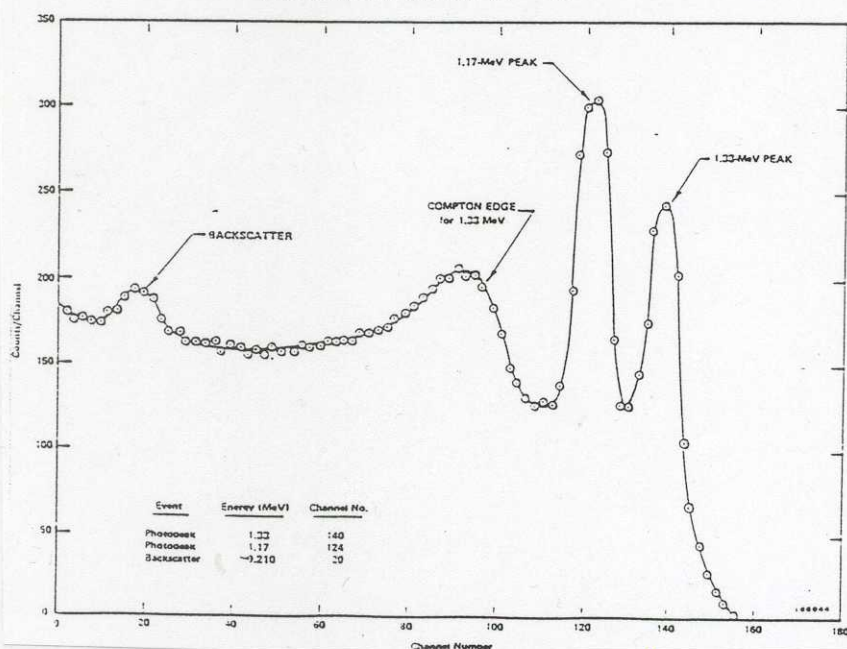


Fig. 3.2. Nal(Tl) Spectrum for ^{137}Cs .



E_γ variam entre as dezenas de keV e alguns MeV.

Conversão interna

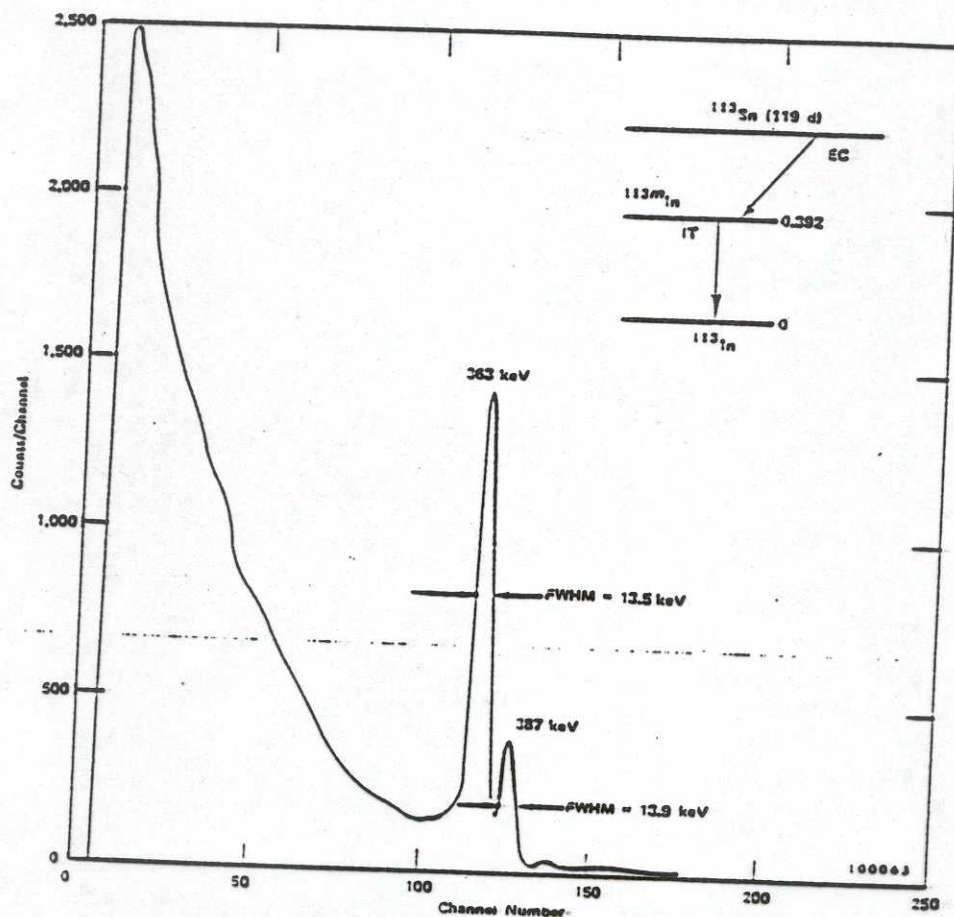
A energia de desexcitação nuclear não sai sob a forma de emissão γ , mas é directamente transferida para um electrão atómico.

É um fenómeno **monoenergético**:

$$E_e = E_\gamma - \phi_i$$

(ϕ_i : energia de ligação da camada $i = K, L, M, \dots$)

⇒ Formam-se grupos de picos de **conversão interna**, com espaçamento $\Delta E = \phi_i - \phi_j$, de probabilidade **decrescente** à medida que E aumenta.

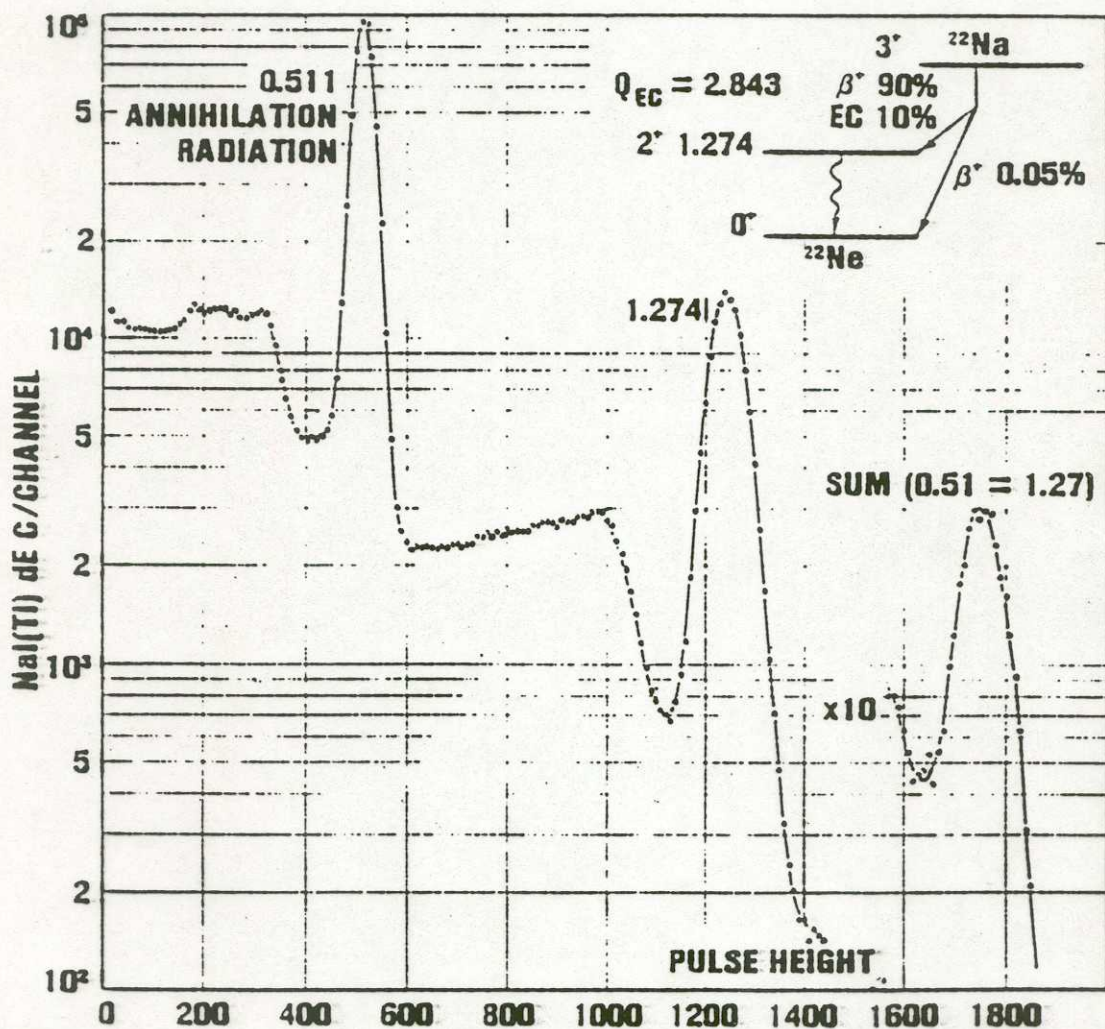


Radiação de aniquilação

No caso da desintegração β^+ , o positrão, sendo uma anti-partícula, tem grande probabilidade de se aniquilar ao encontrar um electrão do material envólucro da fonte ou do próprio detector, produzindo 2 fótons de 511 KeV cada.



Os dois fótons, de modo a conservar o momento partem em direcções opostas, pelo que só um costuma ser detectado.



No caso de **declíneo β^+** , o **positrão** interactua com os **electrões atómicos** do meio, perdendo gradualmente a sua energia em milhares de interacções sucessivas ($> 10^7$). Quando atinge a **energia típica** dos electrões atómicos ($\sim 20\text{-}40\text{ keV}$), captura um e^- , formando um **positronium**.

O **positronium**, sistema **ligado $e^+ e^-$** , é criado num estado **excitado**. Como é instável dão-se transições até se atingir o estado de **energia mínima** ($\sim \text{eV}$), durante o seu **tempo de vida** ($T_m \sim 1\text{ ps}$).

É só nesta situação limite (de “**repouso**”) que se dá a **aniquilação**:

