

Spin jadra v lupinskem modelu (a)

spin jadra: celotna vrt. količina
jadra =
= vektorska vsota vrtilnih
količin nukleonov

posamezen nivo (n, l, j) , ki je polno
zaseden \rightarrow ne prispeva nič k
vrtilni količini jadra; + drugimi
besedami: popolnjen nivo ima

$$\langle \vec{j} \rangle = 0$$

$$\langle \vec{j}_z \rangle = \left\langle \sum_{j_z=-j}^{j_z=j} j_z \right\rangle = 0$$

izotropnost prostora: $\langle \vec{j}_z \rangle = \langle \vec{j}_x \rangle =$

$$\Rightarrow \langle \vec{j} \rangle = 0$$

torej ne prispeva k
vektorski vsoti vrt.
količin posameznih
nivojev

Kaj pa $\langle j_z \rangle$?

(b)

$$\langle \vec{j}^2 \rangle = \left\langle \sum_{\text{nivoju}} j^2 \right\rangle = (2j+1) \underbrace{j(j+1)}$$

↑
št. unklaua na nivoju

velikost (j^2)
celotue vrt.
količine na
nivoju

$$j_z = \pm i$$

$$\begin{aligned} \langle \hat{j}_z^2 \rangle &= \langle \sum j_z^2 \rangle = 2 [1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots + (j-1)^2 + j^2] = \\ &= 2 \frac{j(j+1)(2j+1)}{6} = \frac{j(j+1)(2j+1)}{3} = \end{aligned}$$

$$= \frac{\langle \vec{j}^2 \rangle}{3}$$

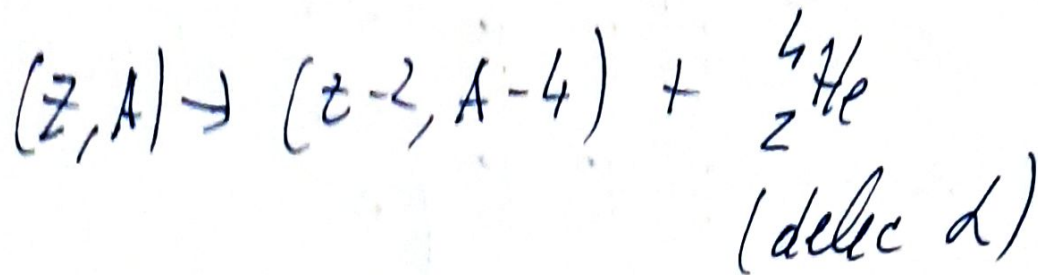
jasno, $\langle \hat{j}_z^2 \rangle = \langle \hat{j}_x^2 \rangle = \langle \hat{j}_y^2 \rangle =$

$$= \frac{\langle \vec{j}^2 \rangle}{3}$$

Razpadli jeter

do razpadov pride, ker je končno stanje (jedro v končnem stanju) energijsko ugodnejše kot začetno stanje (C)

Razpad α



ohranitev energij:

$$M(Z, A)c^2 = M(Z-2, A-4)c^2 + M_\alpha c^2 + T_\alpha + T_{Z-2}$$

ohranitev gib. količin:

$$p_{Z-2} = p_\alpha$$

$$T_\alpha = \frac{p_\alpha^2}{2M_\alpha} = \frac{p_{Z-2}^2}{2M_\alpha} = T_{Z-2} \frac{M(Z-2, A-4)}{M_\alpha}$$

$$\Rightarrow T_{Z-2} \ll T_\alpha$$

(d)

$$M(z, A) c^2 \approx M(z-2, A-4) c^2 + M_\alpha c^2 + T_\alpha$$

$$T_\alpha \approx (M(z) - M(z-2) - M_\alpha) c^2$$

rozpad možen, če $T_\alpha \geq 0$

$$M(z) = A m_{\text{nu}} c^2 - |W_{\text{ret}}(z)|$$

$$T_\alpha = -|W_{\text{ret}}(z, A)| + |W_{\text{ret}}(z-2, A-4)| + |W_{\text{ret}}^\alpha|$$

$$|W_{\text{ret}}^\alpha| = 22,3 \text{ MeV}$$

kinematično razpadi možni za $A \gtrsim 155$,
dejausko jih opazujemo za $A \gtrsim 207$ (Pb)

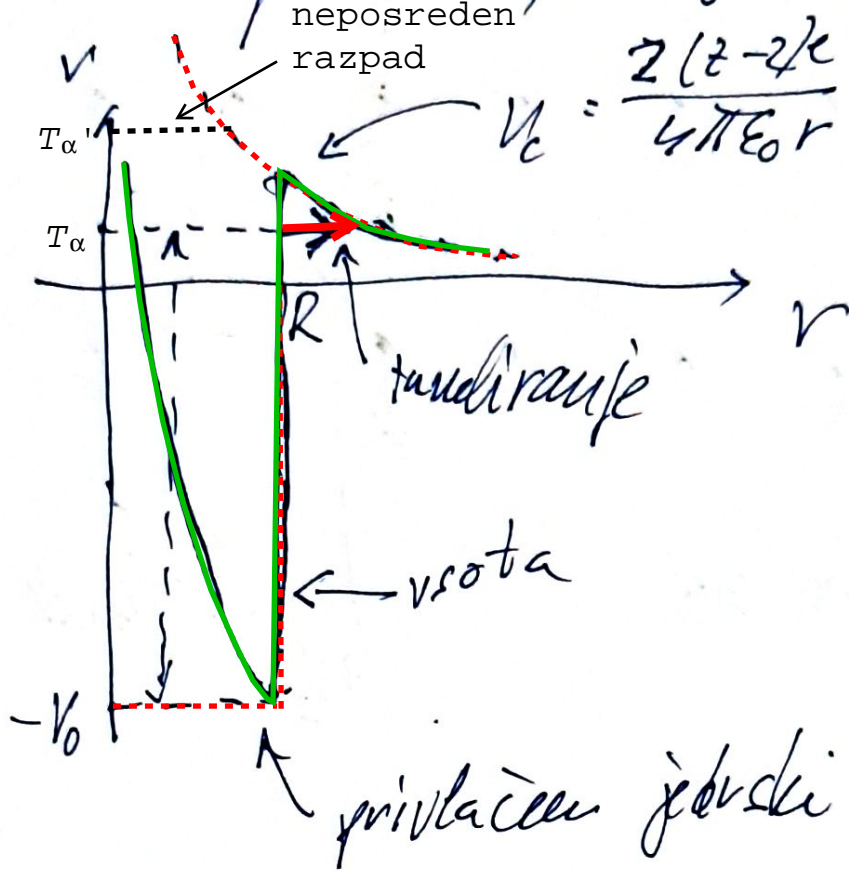
ker gre pri razpadu α
za tuneliranje je verjetnost
pri manjših A precejšnja
(predolg življenjski čas)

jedro: $d +$ preostanek

©

potencial, ki ga občuti

d :



če $T_\alpha - V_0 > V_c(R) \rightarrow$ jedro neumudoma
ratpade

drugāce: tunneliranje

tipični sevalci d :

^{241}Am , ^{210}Po , ^{239}Pu Litvinenko

$T_\alpha \sim \sigma(1\text{MeV}) - \sigma(10\text{MeV})$

Doseg ~~zrak~~ α z $T_\alpha = 5 \text{ MeV}$. (f)

zrak 4 cm

voda 40 μm

Razpad β

$$(Z, A) \rightarrow (Z+1, A) + e^- + \bar{\nu}_e$$

ν_e : elektronski nevtrino; elek. nevtralen
delec, ki občuti edino šibko
jedrsko silo;

$\bar{\nu}_e$: njegov anti-delec

$$m_\nu (m_{\bar{\nu}}) \approx 0$$

$$\rightarrow n \rightarrow p e^- \bar{\nu}_e$$

$$(m_n - m_p)c^2 = 1,29 \text{ MeV}$$

$$m_e c^2 = 0,51 \text{ MeV} \quad m_n c^2 \approx 0$$

(9)

\Rightarrow prosti n razpadajo
($Z \sim 880 \leq$)

ohranitev energij:

$$Z m_p c^2 + (A-Z) m_n c^2 - |W_{\text{vez}}(Z, A)| =$$

$$= (Z+1) m_p c^2 + (A-Z-1) m_n c^2 - |W_{\text{vez}}(Z+1, A)| +$$

$$+ m_e c^2 + T_e + T_\nu$$

$$m_n c^2 - |W_{\text{vez}}(Z, A)| = m_p c^2 + m_e c^2 -$$

$$- |W_{\text{vez}}(Z+1, A)| + T_e + T_\nu$$

razpad mogoč, če $T_e + T_\nu \geq 0$

$$|W_{\text{vez}}(Z+1, A)| - |W_{\text{vez}}(Z, A)| \geq (m_p + m_e - m_n) c^2$$

$$= -0,78 \text{ MeV}$$

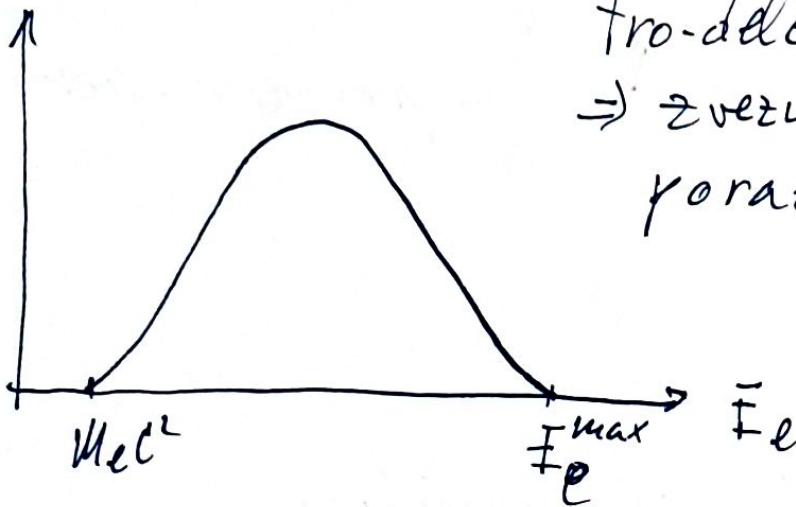
$$\bar{E}_e = T_e + M_e c^2 = (m_u - m_p) c^2 +$$

$$+ |W_{\text{vez}}(z+1, A)| - |W_{\text{vez}}(z, A)| -$$

$$- T_\nu (-m_\nu c^2)$$

(4)

$\frac{dN_e}{dE_e}$



tro-dimenzijski porazdelitev
 \Rightarrow zvezna energijska porazdelitev

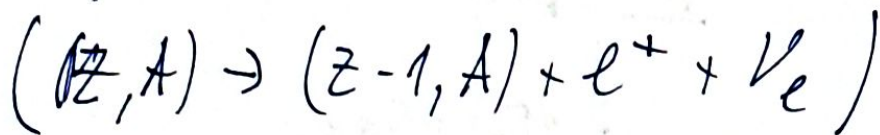
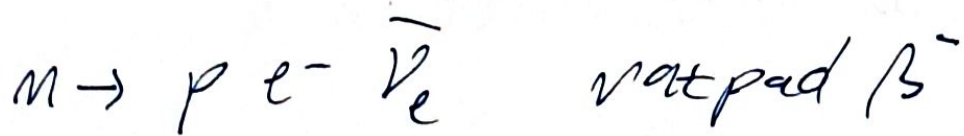
E_e maksimum, ko $T_\nu = 0$

$$E_e^{\text{max}} = (m_u - m_p) c^2 + |W_{\text{vez}}(z+1, A)| -$$

$$- |W_{\text{vez}}(z, A)| (-m_\nu c^2)$$

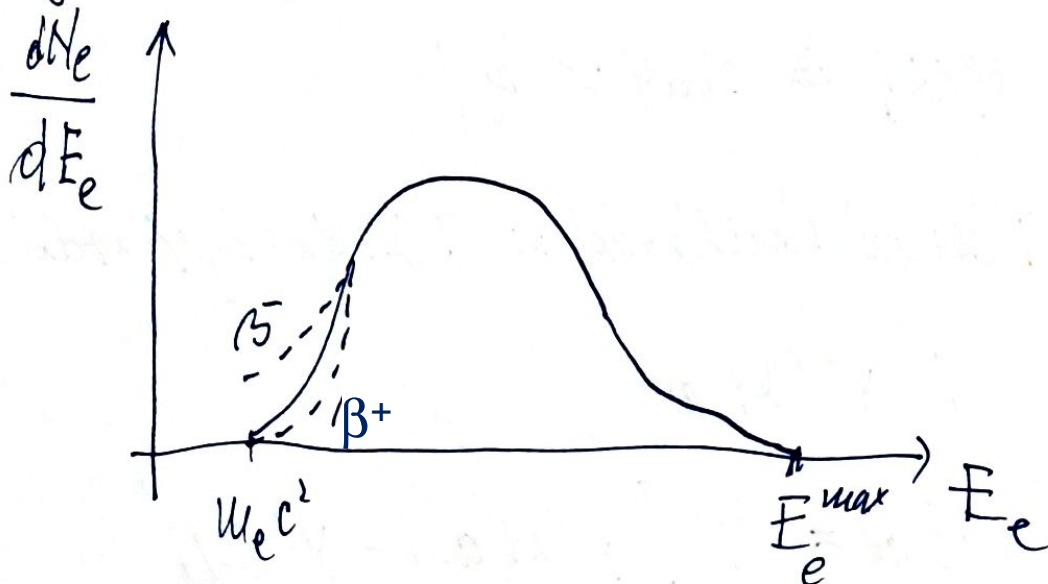
\uparrow

rahla občutljivost
 kontinua dela spektra
 e^- na m_ν



$m_p < m_n \Rightarrow$ prosti p ne
razpadajo!!

Coulombški potencial med e^\pm in
jedrom!



Tipični sevanci β :

^{90}Sr , ^{14}C , ^{129}I , ^{137}Cs

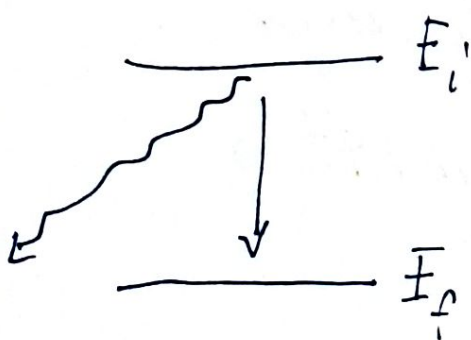
$$T_e \sim \sigma(0,5 \text{ MeV}) - \sigma(5 \text{ MeV})$$

doseg e^- z $T_e = 0,5 \text{ MeV}$

zrak 150 cm

veda 2 mm

Razpadi γ



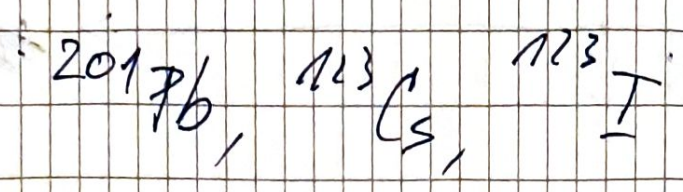
de-ekscitacija
vzbujenega stanja
jedra

Razpadi so posledica EM interakcije, pri razpadu pride do preporatdelitve energije v jedru.

(k)

Razpredi α in β pogosto
nodižo v vznujena stanja,
sledí razpad β .

Tipični sevalci β :

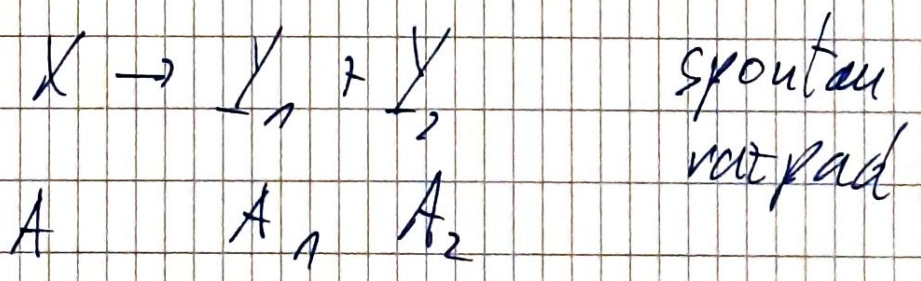


E_{β} zelo različne (0,1 MeV - 20 MeV)

doseg β z $E_{\beta} = 0,2 \text{ MeV}$

- zrak 60 m
- voda 7 cm
- Pb 1 cm

Razcep (fisija) jeder



$$\Delta W = -|W_p(A_1)| - |W_p(A_2)| + |W_p(A)| \approx$$

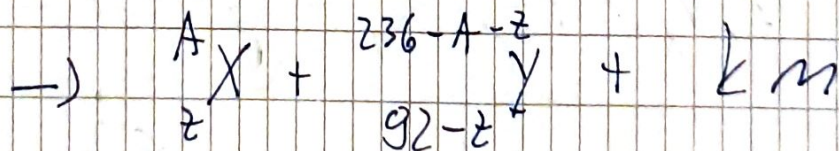
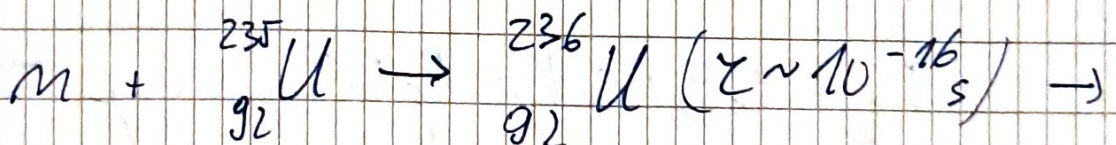
$$\approx -A_1 \bar{w}_{A_1} - A_2 \bar{w}_{A_2} + A \bar{w}_X$$

$$\bar{w}_{A_1} \sim \bar{w}_{A_2} \sim \bar{w}_Y$$

$$\Delta W \sim A (\bar{w}_X - \bar{w}_Y)$$

če $\bar{w}_X < \bar{w}_Y \Rightarrow \Delta W < 0 \rightarrow$ kulov. se sprosti
(jedra mas Fe)

induciran razcep:



$$\langle k \rangle = 2,47$$

$$\langle T_n \rangle \sim 1 \text{ MeV}$$

$$\Delta W \sim A (\bar{m}_x - \bar{m}_y) \sim 236 (7,5 \text{ MeV} - 8,5 \text{ MeV})$$

$$\sim -200 \text{ MeV}$$

sigalni preseki:

$$\frac{dN_{\text{reak}}}{dt} = \frac{dN_{\text{izst}}}{dt} \cdot \frac{dN_{\text{tarci}}}{dS} \cdot \sigma$$

preseki za $n + {}^{235}\text{U} \rightarrow {}^{236}\text{U}$

$$\sigma(T_n \sim 1 \text{ MeV}) \sim 1 \text{ b}$$

$$b (\text{baru}) = 10^{-28} \text{ m}^2$$

$$\sigma(T_n \sim 100 \text{ eV}) \sim 10 - 100 \text{ b}$$

za znatno verjetnost za
inducirani vzcep potreujemo
počasne n

termični n ($T_n < 1 \text{ keV}$)

hitri n ($T_n > 100 \text{ keV}$)

(21)

Hitri n iz vrtepa

→ upotamiter (moderator)

→ veritua reakcija

Moderator: snovi z veliko ρ

($m_n \sim m_p$)

voda, grafit, teka voda

n ne povzrocajo le cepitev, lahko se tudi absorbirajo na U :

σ_f : preseki za cepitev (odvisen od energ. n U_n)

σ_a : U σ_a absorpcija, γ -

$$V(U) = \frac{\sigma_f(U)}{\sigma_f(U) + \sigma_a(U)} \%$$

st. n, ki povzrocajo cepitev,
N naslednji generaciji

(a)

$$\bar{c} \neq \bar{c} \quad \eta(\omega) = \frac{K_1(\omega)}{K_0} > 1 \rightarrow$$

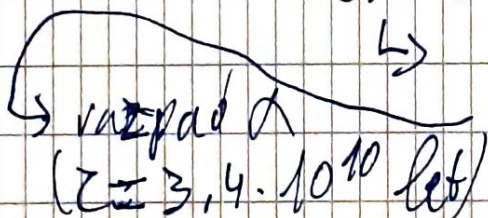
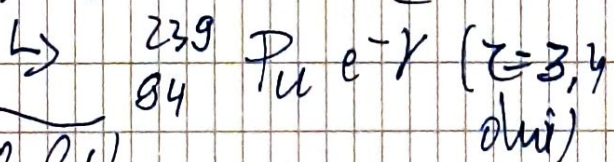
\Rightarrow reakcija se vedrjuje
(brez upoštevanja poglobih
m, itd.)

če je snov sestavljena iz različnih
jedr z delci x_n :

$$\eta(\omega) = \frac{\sum_n x_n \sigma_f^n(\omega)}{\sum_n x_n (\sigma_f^n(\omega) + \sigma_a^n(\omega))}$$

naravni uran: 99,3% ^{238}U
0,7% ^{235}U

~~litij~~ m na ^{238}U se
povtročajo cepitev



te upoštevamo u ^{235}U (delci x) (P)
 in ^{238}U (delci $1-x$)

$$\eta(\text{U}) = \frac{x \sqrt{v_f^{235}} + (1-x) \sqrt{v_f^{238}}}{x (\sqrt{v_f^{235}} + \sqrt{v_a^{235}}) + (1-x) (\sqrt{v_f^{238}} + \sqrt{v_a^{238}})}$$

nizko obogaten U: $x \sim 0,9\% - 2\%$

srednje " " $x \sim 2\% - 20\%$

visoko " " $x \approx 20\%$

Kot gorivo v reakt. se tipično uporablja $x \sim 3\%$

o 3% ^{235}U in 97% ^{238}U

$$M = 238 \text{ kg/kmol} \quad N_A = 6 \cdot 10^{26} / \text{kmol}$$

1 kg obogatenega urana:

$$\frac{6 \cdot 10^{26}}{238} \cdot 0,03 \text{ jeder } ^{235}\text{U} \sim 7,5 \cdot 10^{22}$$

Pri vsaki cepitvi se sprosti ~~na~~ 190 kW

~~1~~ \Rightarrow 1 kg obogatenega urana sprosti

$2 \cdot 10^{12} \text{ J/kg}$ (sežigna toplota
 prevlečna: $3 \cdot 10^7 \text{ J/kg}$)