CAS DES DESINTEGRATIONS FAIBLES

→ IL Y A DES ELECTRONS

β^- : ${}^A_Z X \longrightarrow {}^A_{Z+1} T + e^- + \bar{\nu}$

$c \equiv 1$
$m_\nu = m_{\bar{\nu}} \equiv 0$

$$Q_{\beta^-} = M(T) + m_{e^-} - M(X)$$

$$Q_{\beta^-} \simeq M(T) - M(X)$$

β^+ : ${}^A_Z X \longrightarrow {}^A_{Z-1} Y + e^+ + \nu$

$$Q_{\beta^+} = M(Y) + m_{e^+} - M(X)$$

$$Q_{\beta^+} \simeq M(Y) - M(X) - 2m_e$$

CE : ${}^A_Z X + e^- \longrightarrow {}^A_{Z-1} Y + \nu$

$$Q_{CE} = M(Y) - M(X) - m_{e^-}$$

$$Q_{CE} = M(Y) - M(X)$$

→ pour $X \to Y$ (soit pour β^+, soit pour CE), on utilise comme pour β^-

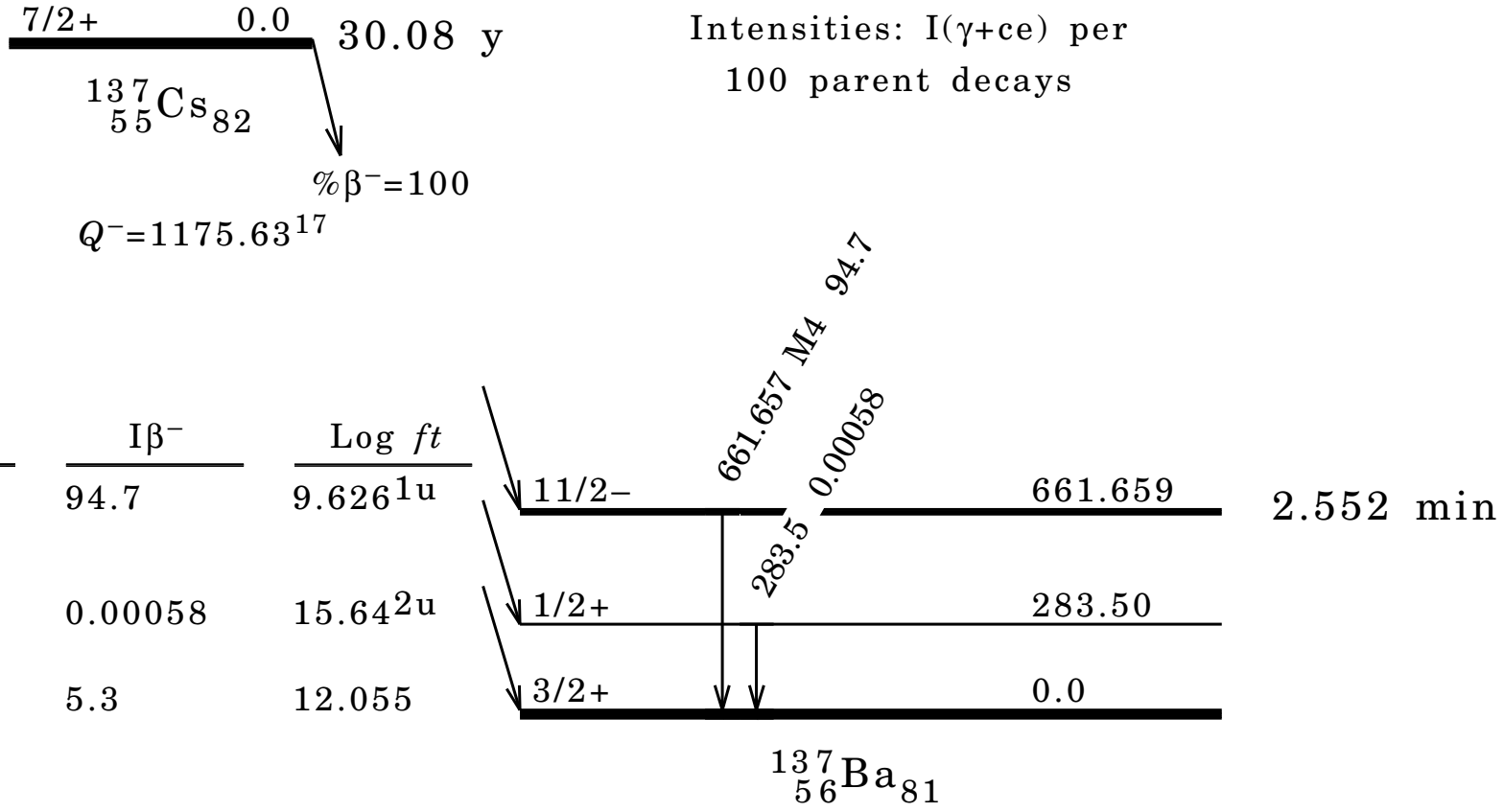
$$Q \equiv M(\text{fils}) - M(\text{père}) = \Delta M$$

$$\left| \begin{array}{l} Q_{CE} = Q \\ Q_{\beta^+} = Q_{CE} - 2m_e c^2 \end{array} \right.$$

Les bonnes tables donnent soit Q_{β^-}, soit Q_{CE} (seulement)

Decay Scheme

Intensities: I(γ+ce) per 100 parent decays



Eβ⁻	Iβ⁻	Log *ft*
514.03	94.7	9.626 1u
	0.00058	15.64 2u
1176	5.3	12.055

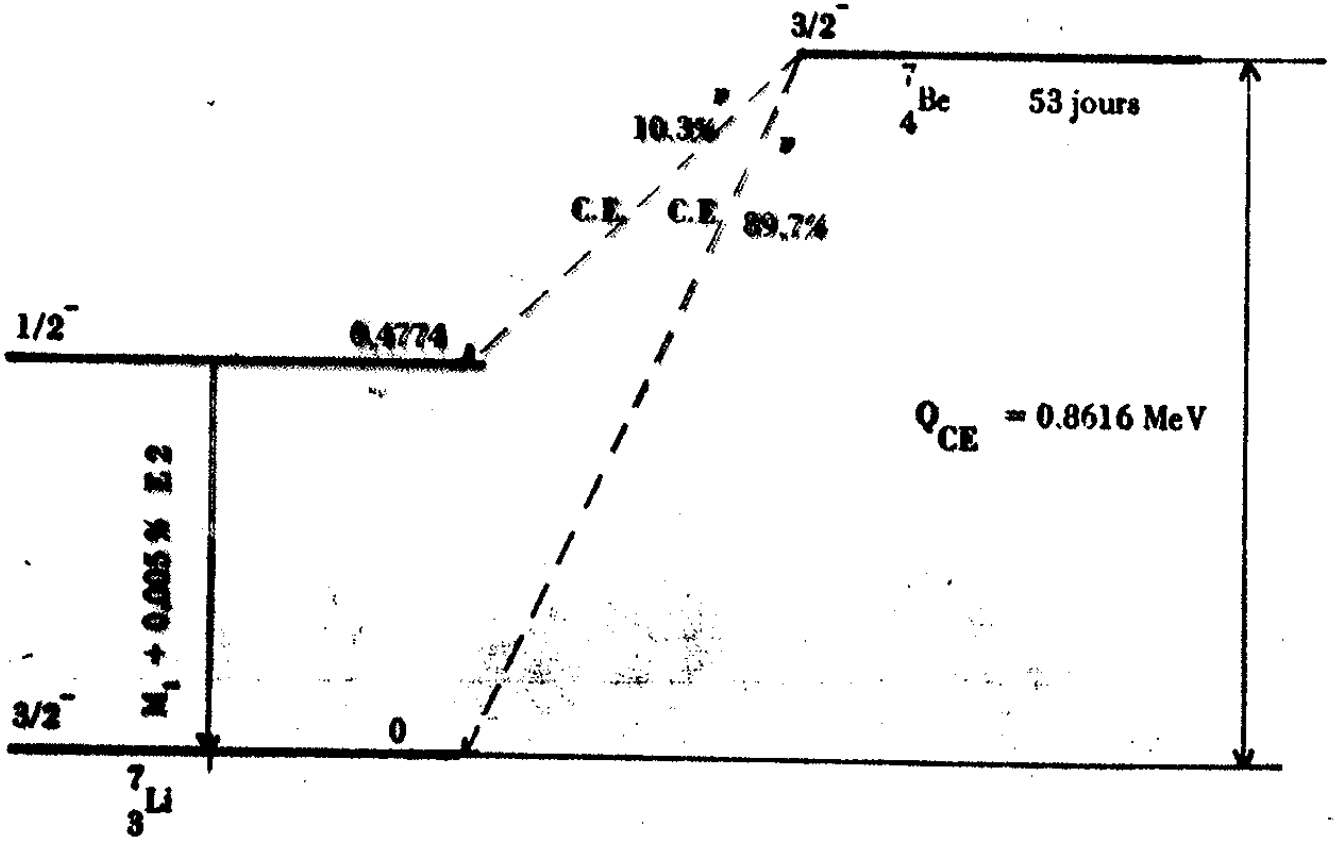


Schéma de désintégration du $^{7}_{4}$Be par capture électronique

(Pour Z = 3 B_K = 55 eV)

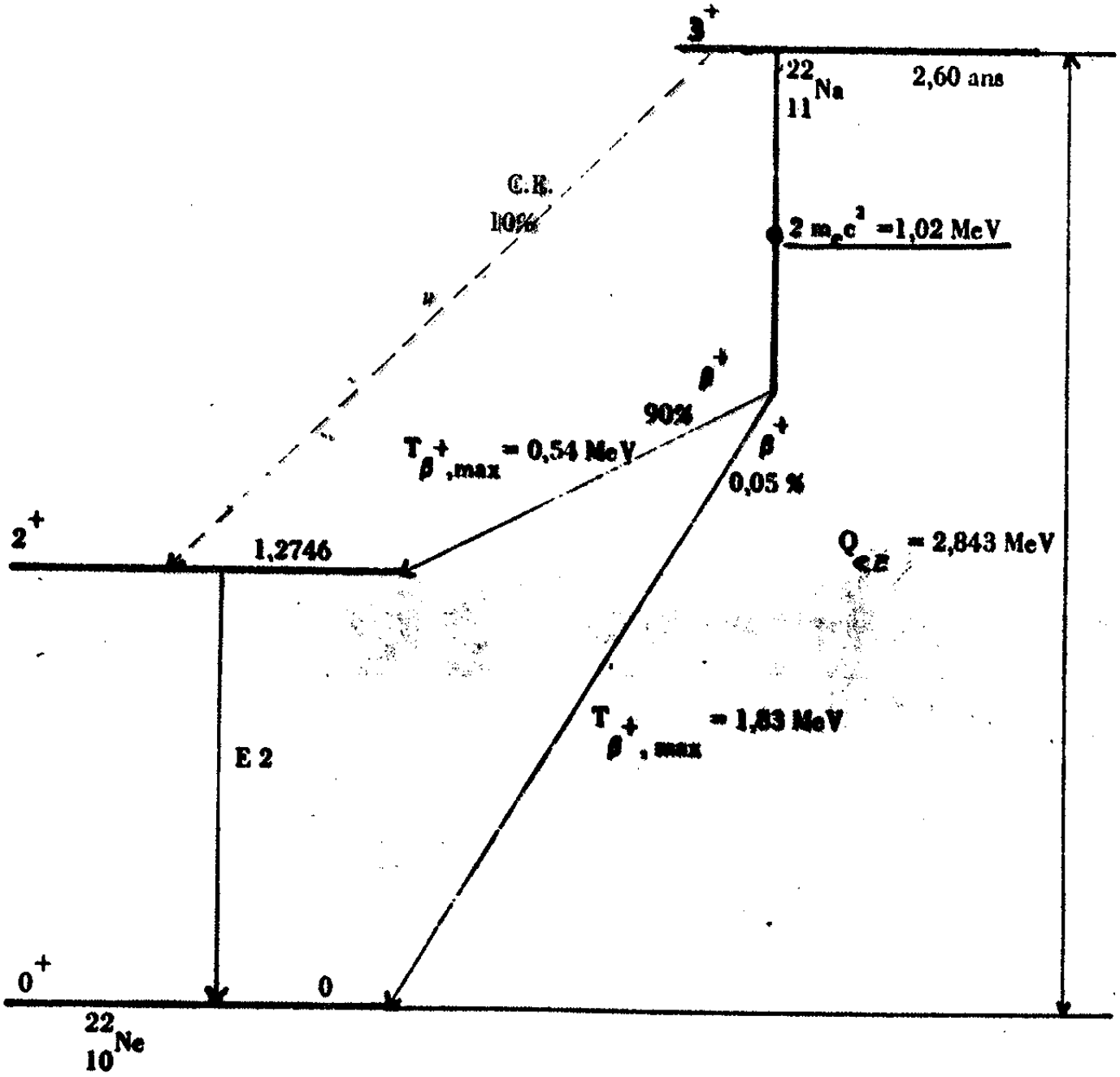


Schéma de désintégration du $^{22}_{11}Na$

^{22}Na β$^+$ Decay

Parent ^{22}Na: E=0.0; Jπ=3+; $T_{1/2}$=2.6027 y *10*; Q(g.s.)=2842.3 *4*; %β$^+$ decay=100.
Decay scheme from the Table de Radionuclides – CEA ISBN 2 7272 0200 8, except as noted. Produced by ^{19}F(α,n), ^{24}Mg(d,α).
Other: 1968Le03.

^{22}Ne Levels

E(level)	Jπ	$T_{1/2}$
0.0	0+	stable
1274.577 *7*	2+	

β$^+$,ε Data

Eε	E(level)	Iβ$^+$†	Iε†	Log *ft*	I(ε+β$^+$)†	Comments
(1567.7 *4*)	1274.577	90.326 *15*	9.618 *15*	7.41	99.944 *14*	av Eβ=215.54 *21*; εK=0.0888 *3*; εL=0.00735 *3*. Iε: The ε/β+ ratio is anomalous. ε/β+=0.1071 6, based on weighted average of 0.1077 6 (1976Ma38) and 0.1079 3 (1983Ba41), 0.1050 29 (1990Ku10), 0.1048 7 (1967Le07), 0.1042 10 (1968We02), 0.1041 10 (1964Wi04). Theoretical value ε/β+=0.1152 3 (1978Fi11).
(2842.3 *4*)	0.0	0.056 *14*		14.91 2u	0.056 *14*	Iβ$^+$: 1996Sa06 measured Iε=0.07 *2*. av Eβ=835.00 *23*; εK=0.016184 *17*.

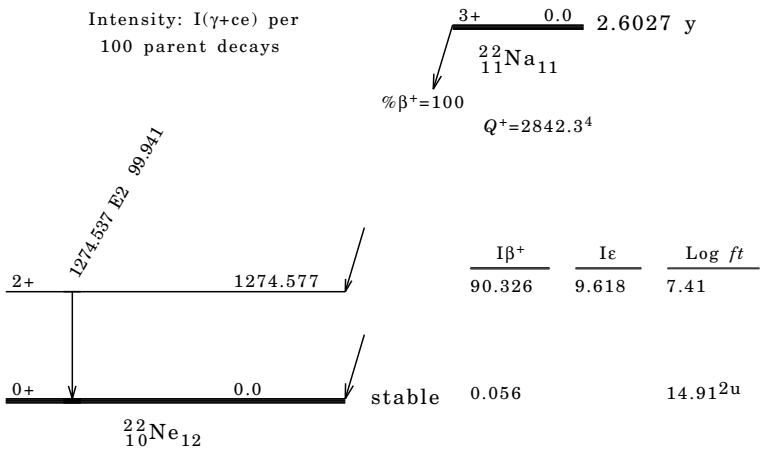
† For intensity per 100 decays, multiply by 1.0.

γ(^{22}Ne)

Eγ	E(level)	Iγ†	Mult.	α	Comments
1274.537 *7*	1274.577	99.941 *14*	E2	2.8×10^{-05} *3*	α: α(tot)=6.8×10^{-4}, from experimental value of 1985HaZA. Interpolated value is 6.8×10^{-6} from tables of 1976Ba63. Internal pair formation coefficient $\alpha_\pi=2.1\times10^{-5}$ *3* (1979Sc31). $\alpha=\alpha(\text{tot})+\alpha_\pi$.

† For absolute intensity per 100 decays, multiply by 1.0.

Decay Scheme



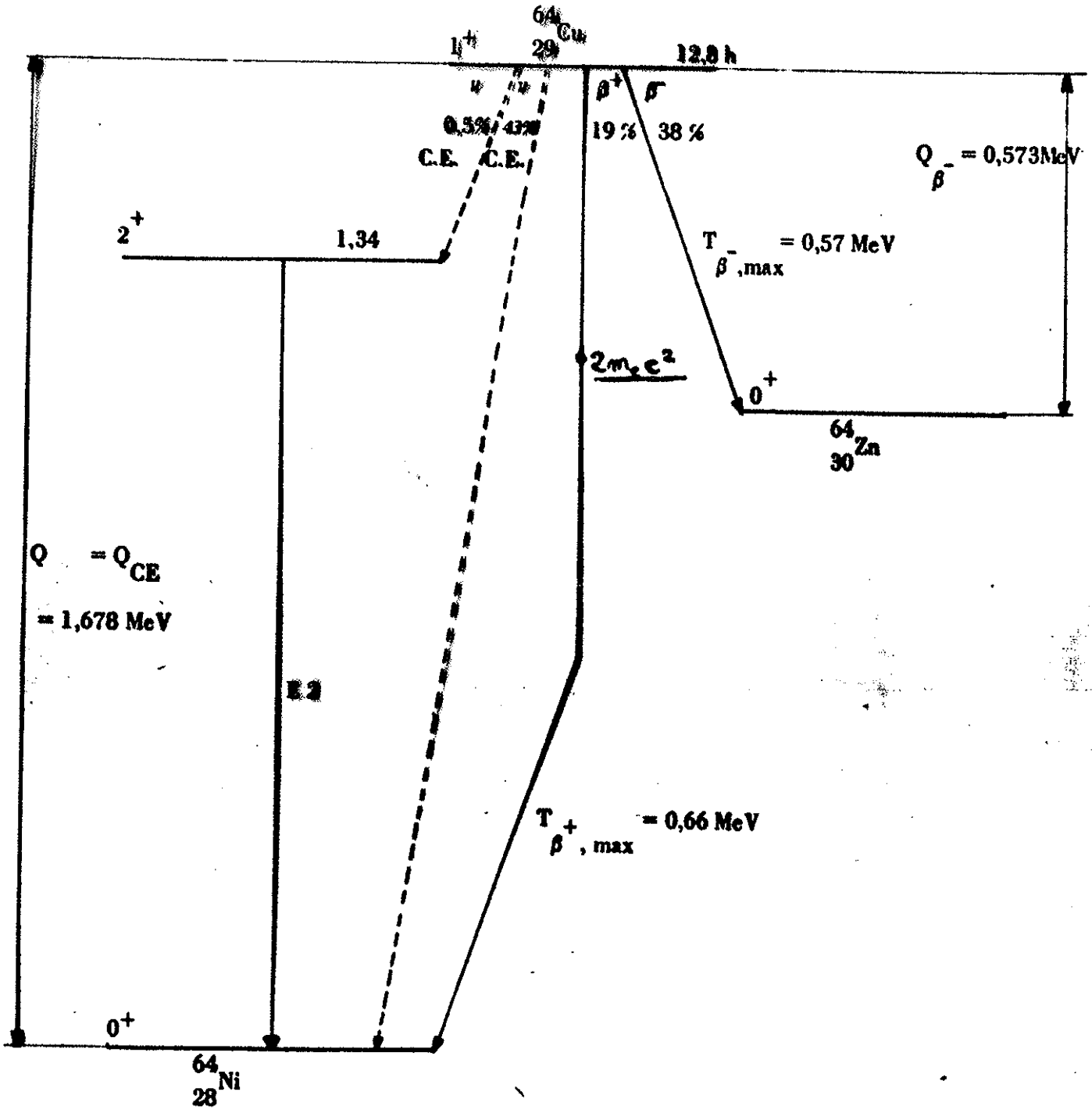


Schéma de désintégration du $^{64}_{29}Cu$

BILANS ENERGETIQUES

→ particularisation à l'astrophysique

HYPOTHESES : 1 : le neutrino s'echappe
2 : le positron ($e^{v!}$) emis rencontre toujours un electron

soit Q^{eff} le bilan energetique astrophysique effectif

pour β^+, β^- (réactions à 3 corps dans la voie de sortie → spectres energetiques continus)

β^- : $Q^{eff}_{\beta^-} = Q_{\beta^-} - \langle E_{\bar{\nu}} \rangle$

β^+ : $Q^{eff}_{\beta^+} = Q_{\beta^+} - \langle E_\nu \rangle + 2 m_e c^2$

$\simeq Q_{CE} - \langle E_\nu \rangle$

pour CE (2 corps dans la voie de sortie → valeurs bien déterminées)

CE : $Q^{eff}_{CE} = Q_{CE} - E_\nu$

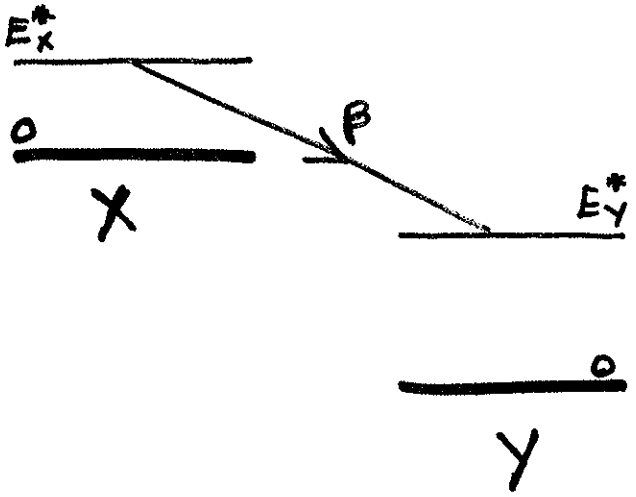
⚠ a priori, il n'y a plus de distinction à faire entre les cas CE et β^+ MAIS il faut faire maintenant le

CALCUL de $\langle E_\nu \rangle$ ----

pour CE $E_\nu \lesssim Q_{CE}$ et ainsi $Q^{eff}_{CE} \simeq 0$

CALCUL de $\langle E_\nu \rangle$:

on pose f tel que $\langle E_\nu \rangle = f\, E_\nu^{max}$



$$E_\nu^{max} = Q_\beta + E_X^* - E_Y^*$$

↳ Q_{β^+} ou Q_{β^-}

Chiu (1968) donne $f = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{1}{w}\right)\left(1 - \frac{1}{4w} - \frac{1}{9w^2}\right)$

rmq : $f > 0.5$

$$w = \frac{E_\nu^{max}}{m_e c^2} + 1$$

Spectre d'émission β moins

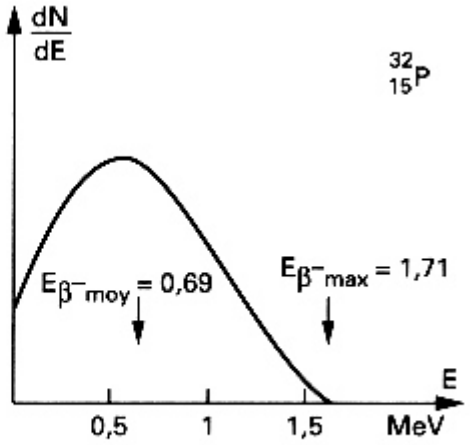


Figure 8 – *Spectre d'émission des β⁻, cas du* $^{32}_{15}P$

Le diagramme d'énergie de ce rayonnement correspond à une émission selon un spectre avec peu de particules émises avec l'énergie maximale de 1,71 MeV et une énergie moyenne de l'ensemble des particules aux environs de 0,69 MeV, soit le tiers de l'énergie maximale.

Source : "*Manuel pratique de radioprotection*" D.-J. Gambini & R. Granier (1997) ed. TEC & DOC Lavoisier

Diagramme d'émission β plus

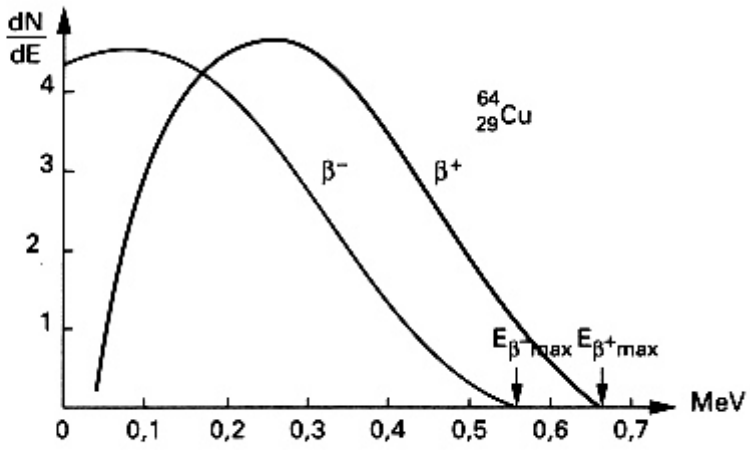


Figure 9 – *Spectre d'émission* $\beta^- - \beta^+$, *cas du* $^{64}_{29}Cu$

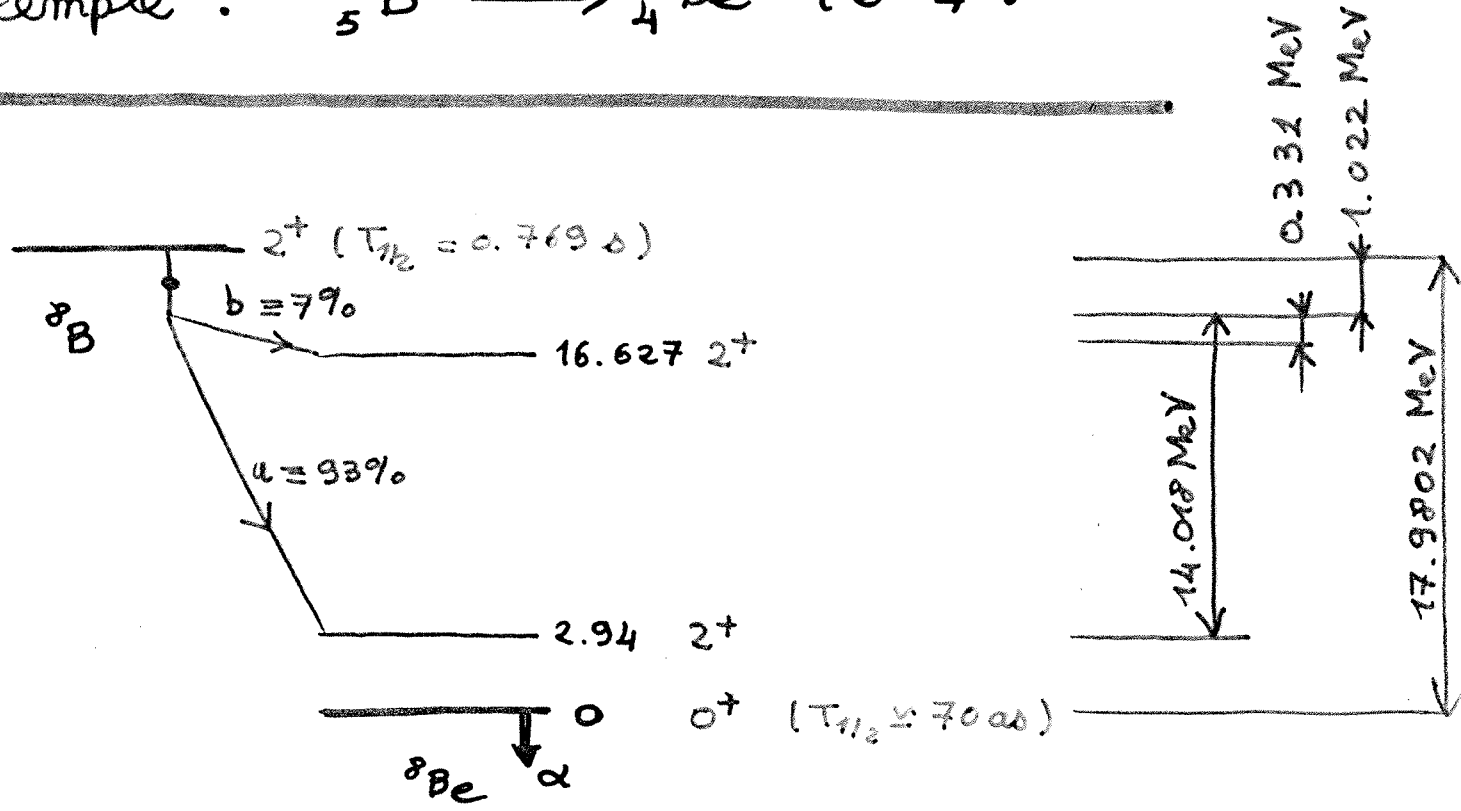
Le diagramme d'énergie de ce rayonnement est un spectre d'émission.

Cependant, on remarque qu'un certain nombre de particules sont émises pour les faibles énergies (la courbe démarre à l'origine des 2 axes).

En effet, les particules β^+ subissent d'emblée une répulsion dûe aux charges positives des protons du noyaun (à l'inverse des particules β^- qui subissent une attraction et nécessitent plus d'énergie pour être expulsées).

Source : "*Manuel pratique de radioprotection*" D.-J. Gambini & R. Granier (1997) - ed. TEC & DOC Lavoisier

exemple : $^{8}_{5}B \longrightarrow {}^{8}_{4}Be + e^{+} + \nu$



a) $E_\nu^{max} = 14.018\ MeV$

$W = 28.433$

$b = 0.513$ $\qquad \langle E_\nu^a \rangle = 7.191\ MeV$

b) $E_\nu^{max} = 0.331\ MeV$

$W = 1.648$

$b = 0.649$ $\qquad \langle E_\nu^b \rangle = 0.215\ MeV$

- $Q_{CE} = 17.980\ MeV$

$\langle E_\nu \rangle \simeq 6.703$ $\qquad Q_{\beta^+}^{eff} = 11.277\ MeV$

Si on ne considère pas le cas b) on trouve seulement

$Q^{eff} = Q_{CE} - \langle E_\nu^a \rangle = 10.789\ MeV$

→ on perd $0.472\ MeV$

cf J.N. Bahcall and R.K. Ulrich rev. mod. phys. 60(1988)297-372

TABLE XXI. Effective Q values for nuclear reactions. The values listed are corrected for neutrino energy loss and represent the average thermal energy communicated to the star per reaction.

Reactions	Q_{eff} (MeV)	Notes
$^1H(p, e^+\nu_e)^2H$ $^2H(p, \gamma)^3He$	6.664	Includes thermal energy loss via p-p neutrinos; also pep reaction.
$^3He(^3He, 2p)^4He$	12.860	
$^3He(\alpha, \gamma)^7Be$	1.586	
$^7Be(e^-\nu_e)^7Li(p, \alpha)^4He$	17.394	Includes branching to excited state of ^7Li and correction for thermal energy loss in the electron capture.
$^7Be(p, \gamma)^8B(e^+\nu_e)^8Be^*$ $^8Be^* \rightarrow 2\alpha$	11.499	Used experimental α spectrum to compute neutrino energy loss.
$^{12}C(p, \gamma)^{13}N(e^+\nu_e)^{13}C$ $^{13}C(p, \gamma)^{14}N$	11.008	0.707 MeV neutrino energy loss
$^{14}N(p, \gamma)^{15}O(e^+\nu_e)^{15}N$	9.054	0.997 neutrino energy loss
$^{15}N(p, \alpha)^{12}C$	4.966	
$^{15}N(p, \gamma)^{16}O$	12.128	
$^{16}O(p, \gamma)^{17}F(e^+\nu_e)^{17}O$ $^{17}O(p, \alpha)^{14}N$	3.553	0.999 MeV energy loss

J.N. Bahcall and R.F. Ulrich Rev. Mod. Phys. 60 (1988) 297-372