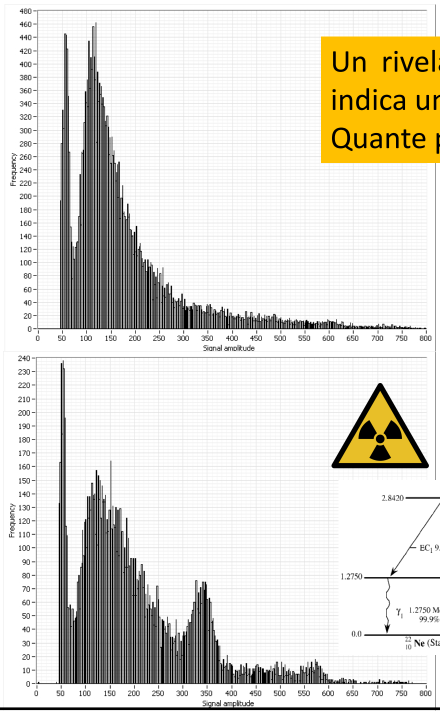
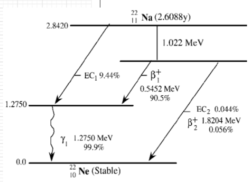


Un rivelatore con un tempo morto di 10 μs indica una frequenza di 20 kHz.
Quante particelle lo colpiscono ogni secondo?

$$r^* = r/(1 - r\,\tau)$$

25000



^{22}Na

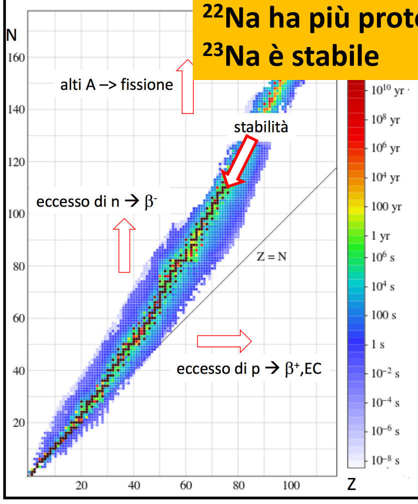
$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$ Q > 0

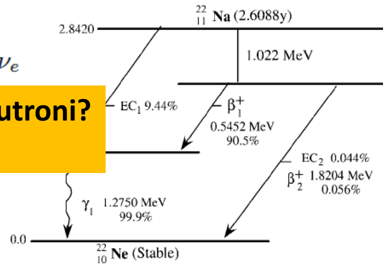
$p \rightarrow n + e^+ + \nu$ Q < 0

decadimento β^+: ${}^A_Z X \longrightarrow {}_{Z-1}^{\;\;A} Y + e^+ + \nu_e$

cattura elettronica : ${}^A_Z X + e^- \longrightarrow {}_{Z-1}^{\;\;A} Y + \nu_e$

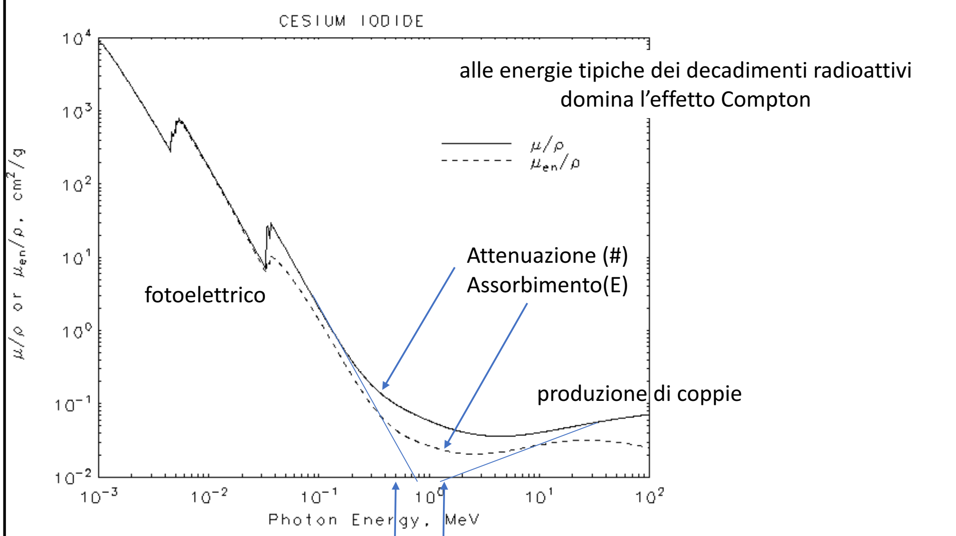
^{22}Na ha più protoni o neutroni?
^{23}Na è stabile





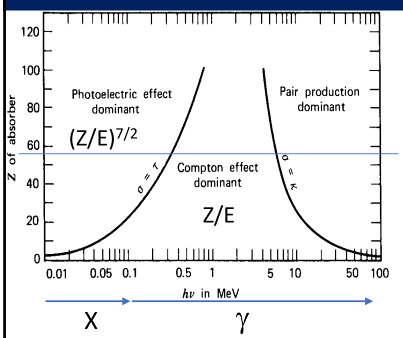
T½ = 2,6 y
90% e+ Q = 0,54 MeV
100% γ E=1,275 MeV

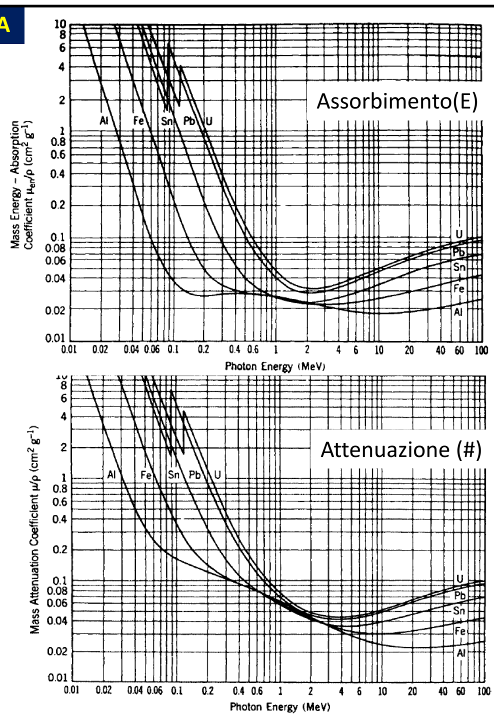
INTERAZIONE DEI GAMMA CON LA MATERIA



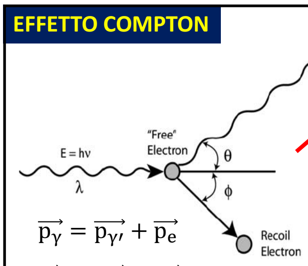
Il funzionamento degli scintillatori richiede che ci sia un rilascio di energia sotto forma di eccitazione e ionizzazione (Bethe-Bloch).

INTERAZIONE DEI GAMMA CON LA MATERIA





EFFETTO COMPTON



$$\cancel{p_\gamma^2} + \cancel{p_{\gamma'}^2} - 2p_\gamma p_{\gamma'}\cos\vartheta = \cancel{p_\gamma^2} + \cancel{p_{\gamma'}^2} + 2mcp_\gamma - 2p_\gamma p_{\gamma'} - 2mcp_{\gamma'}$$

$$mc(p_\gamma - p_{\gamma'}) = p_\gamma p_{\gamma'} - p_\gamma p_{\gamma'}\cos\vartheta$$

$$p_\gamma = \frac{E_\gamma}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

$$\overrightarrow{p_\gamma} = \overrightarrow{p_{\gamma'}} + \overrightarrow{p_e}$$

$$\overrightarrow{p_\gamma} - \overrightarrow{p_{\gamma'}} = \overrightarrow{p_e}$$

$$p_\gamma^2 + p_{\gamma'}^2 - 2\overrightarrow{p_\gamma}\,\overrightarrow{p_{\gamma'}} = p_e^2$$

$$mc\left(\frac{h}{\lambda} - \frac{h}{\lambda'}\right) = \frac{h^2}{\lambda\lambda'} - \frac{h^2}{\lambda\lambda'}\cos\vartheta$$

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos\vartheta)$$

$$E_\gamma + mc^2 = E_{\gamma'} + E_e$$

$$\boldsymbol{\lambda' - \lambda = \lambda_c\,(1 - \cos\vartheta)}$$

$$p_\gamma c + mc^2 = p_{\gamma'}c + \sqrt{(p_e c)^2 + (mc^2)^2}$$

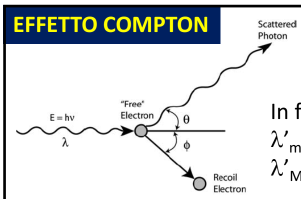
$$p_\gamma + mc - p_{\gamma'} = \sqrt{p_e^2 + (mc)^2}$$

$$\lambda_c = \frac{h}{mc} = \frac{6{,}6 \cdot 10^{-34}\,\mathrm{Js}}{9{,}1 \cdot 10^{-31}\,\mathrm{kg} \times 3{,}0 \cdot 10^8\,\mathrm{m/s}} = 2{,}4\ 10^{-12}\,\mathrm{m}$$

$$\left(p_\gamma + mc - p_{\gamma'}\right)^2 = p_e^2 + (mc)^2$$

$$p_\gamma^2 + p_{\gamma'}^2 + 2mcp_\gamma - 2p_\gamma p_{\gamma'} - 2mcp_{\gamma'} = p_e^2$$

EFFETTO COMPTON



$$\lambda' - \lambda = \lambda_c\,(1 - \cos\vartheta) \qquad \lambda_c = \frac{h}{mc} = 2{,}4\ 10^{-12}\,\mathrm{m}$$

In funzione dell'angolo di diffusione θ la lunghezza d'onda λ' varia da
$\lambda'_{min} = \lambda$ ($\cos\theta = 1 \rightarrow \theta = 0$) a
$\lambda'_{MAX} = \lambda + 2\,\lambda_c$ ($\cos\theta = -1 \rightarrow \theta = \pi$).

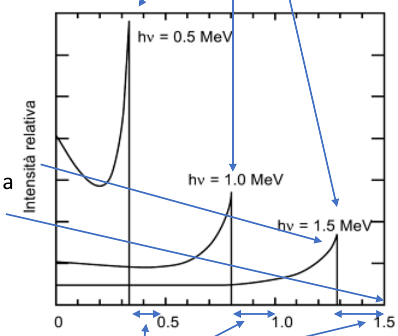
spalla Compton
"Compton edge"

In termini energetici:

$$\frac{hc}{E_{\gamma'}} - \frac{hc}{E_\gamma} = \frac{hc}{mc^2}(1 - \cos\vartheta)$$

$$\frac{1}{E_{\gamma'}} - \frac{1}{E_\gamma} = \frac{1}{mc^2}(1 - \cos\vartheta)$$

$$\frac{1}{E_{\gamma' min}} - \frac{1}{E_\gamma} = \frac{2}{mc^2}$$



La massima energia acquistata dall'elettrone non è pari a quella del gamma incidente: il gamma uscente a π ha comunque un'energia $E_{\gamma' min}$

$$E_\gamma + mc^2 = E_{\gamma'} + E_e = E_{\gamma'} + K_e + mc^2$$

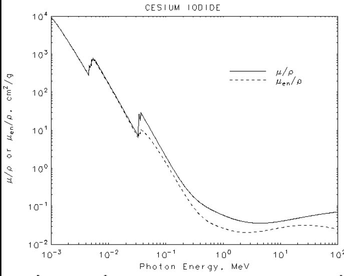
K_e energia cinetica dell'elettrone [MeV]

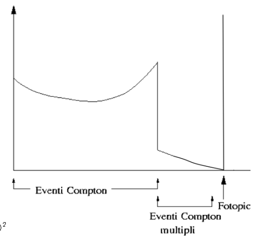
$$E_\gamma - K_e = E_{\gamma'}$$

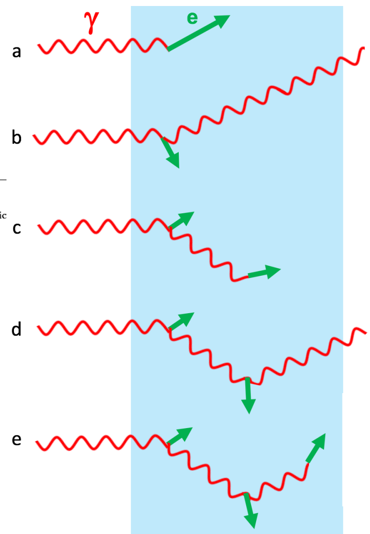
La distanza fra E_γ e K_{eMAX} per E_γ >> mc^2 è $\frac{1}{E_{\gamma' min}} = \frac{2}{mc^2}$ circa 250 keV

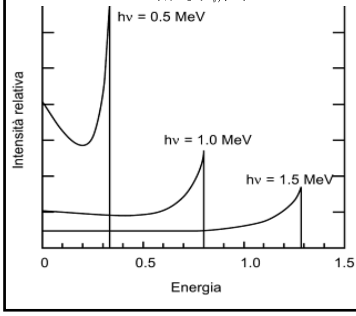
FOTOPICCO

La probabilità che un gamma attraversando lo scintillatore subisca un effetto fotoelettrico è bassa e nel caso di un urto Compton solo una parte dell'energia viene convertita in energia cinetica dell'elettrone.

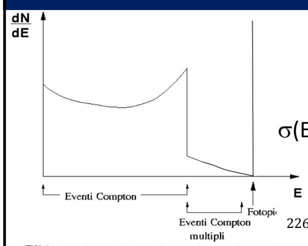




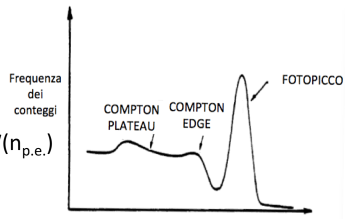




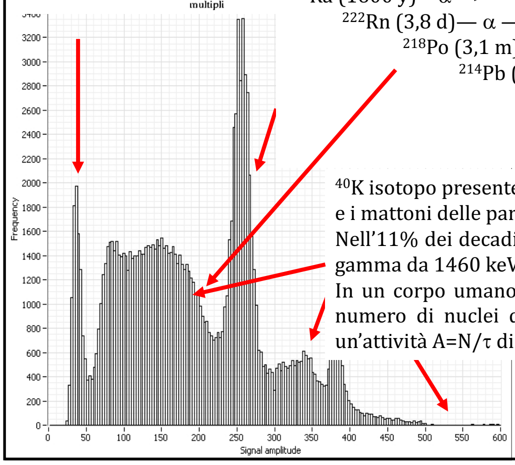
LO SPETTRO OSSERVATO DEL ^{22}Na



$\sigma(E)/E = \sigma(n_{p.e.})/n_{p.e.} = 1/\sqrt{(n_{p.e.})}$



^{226}Ra (1600 y)—α—>
^{222}Rn (3,8 d)— α —>
^{218}Po (3,1 m)— α —>
^{214}Pb (27 m)—(β⁻; γ: 295keV(19%), 352keV(36%))—>
^{214}Bi (20 m)—(β⁻; γ: 609keV(45%))—>
^{214}Po (164 μs)— α —>
^{210}Pb (22 y)—(…)—>



^{40}K isotopo presente (0,012%) nel potassio che compone il cemento e i mattoni delle pareti e del pavimento.

Nell'11% dei decadimenti del ^{40}K ($T_{1/2}$=1,2·10⁹ y) viene emesso un gamma da 1460 keV.

In un corpo umano di 70 kg ci sono circa 160 g di potassio e un numero di nuclei di ^{40}K: $0{,}012\cdot10^{-2}$x160/40x6·10²³=2,9·10²⁰ cioè un'attività A=N/τ di circa 2,9·10²⁰/[1,2·10⁹ y/ln(2)]= 5 kBq.

RADIOPROTEZIONE

I) Principio di giustificazione

In ogni attività che contempla esposizione a radiazioni ionizzanti deve essere giustificato il loro uso. In particolare deve essere verificato che i benefici ottenibili dal loro impiego superano i danni che potrebbero derivarne.

II) Principio di ottimizzazione

L'esposizione alle radiazioni ionizzanti deve essere ridotta quanto più possibile (**principio ALARA**, ***A****s* ***L****ow* ***A****s* ***R****easonably* ***A****chievable*):

distanza
tempo
schermi
contenimento

III) Applicazione dei limiti di dose

Una volta che l'uso delle radiazioni sia stato giustificato e ridotto al livello più basso possibile resta da verificare se quanto ottenuto rappresenta comunque una situazione di pericolo per l'individuo, il lavoratore e/o la popolazione.

Limiti di riferimento di dose (H) per la classificazione dei lavoratori (mSv/anno)

	Categoria A	Categoria B	NON ESPOSTI
Equivalente di dose globale	6<H<20	1<H<6	<1
Equivalente di dose al cristallino	45<H<150	15<H<45	<15
Equivalente di dose pelle/estremità	150<H<500	50<H<150	<50

$$"D_{ass}" = D = \frac{dE}{dm}$$

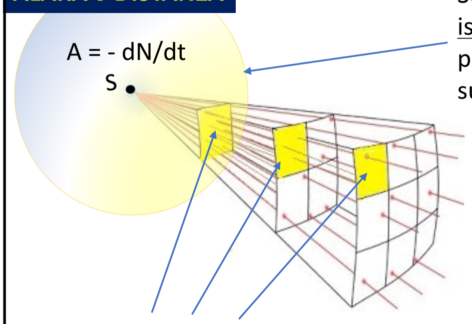
$$"D_{equiv}" = H = w_R D$$

w_R fattore di qualità della radiazione (e, γ = 1)

joule/chilogrammo = gray

gray = sievert

ALARA→DISTANZA

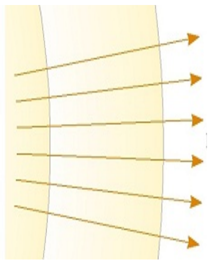


Se per ogni disintegrazione viene emessa isotropicamente una particella, -dN = A dt particelle si distribuiscono uniformemente sulla superficie sferica $4\pi R^2$

$$d\varphi = \frac{-dN}{S} = \frac{-dN}{4\pi R^2}$$

$$\dot{\varphi} = \frac{A}{4\pi R^2}$$

All'aumentare della distanza R dalla sorgente lo stesso numero di particelle si distribuisce su una superficie $4\pi R^2$ via via più grande e l'intensità di fluenza di riduce quadraticamente come R^2



A grande distanza la superficie sferica è ben approssimabile con una superficie piana: la frequeza r di particelle che attraversano la superficie ΔS perpendicolare alla direzione delle particelle è r = $\dot{\varphi}\,\Delta S$

$$r = \dot{\varphi}\,\Delta S = \frac{A}{4\pi R^2}\,\Delta S$$

e per un fascio parallelo ?

SPERIMENTALMENTE

1) se per ogni disintegrazione vengono emesse <u>isotropicamente</u> η particelle che si distribuiscono uniformemente sulla superficie sferica $4\pi R^2$ ma ognuna di esse viene rivelata con una efficienza ε allora

$$r = \eta\varepsilon\,\dot{\varphi}\,\Delta S = \frac{A\eta\epsilon}{4\pi R^2}\,\Delta S$$

2) se è utile (come in laboratorio) scomporre la distanza R in un contributo fisso Δ e una parte variabile d

$$r = \eta\varepsilon\,\dot{\varphi}\,\Delta S = \frac{A\eta\epsilon}{4\pi(\Delta + d)^2}\,\Delta S$$

3) Se il rivelatore in assenza di segnale ha una frequenza di fondo r_F

$$r = \frac{A\,\eta\varepsilon\,\Delta S}{4\pi(d+\Delta)^2} + r_F$$

$$\log(r - r_F) = -2\log(R) + \text{costante}$$

Due studi possibili:

$$\frac{1}{\sqrt{r - r_F}} = \sqrt{\frac{4\pi}{A\,\eta\varepsilon\,\Delta S}}\,d + \sqrt{\frac{4\pi}{A\,\eta\varepsilon\,\Delta S}}\,\Delta$$

PROSSIMO LABORATORIO: MERCOLEDÌ 26 APRILE

PROSSIMA LEZIONE: VENERDÌ 28 APRILE