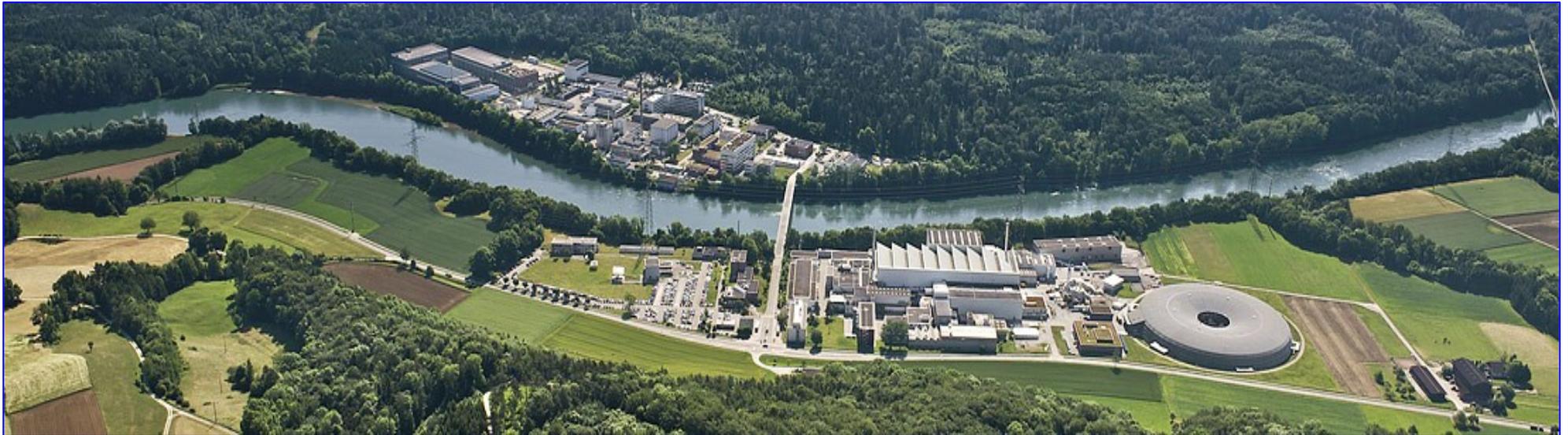


**La ricerca della violazione del sapore leptonic,
 $\mu \rightarrow e^+ \gamma$
Descrizione del calorimetro LXe dell'esperimento MEG.**

di Valentina Martinelli



Tutor:
C.Voena
G.Cavoto

Tesina di fisica nucleare e subnucleare 2

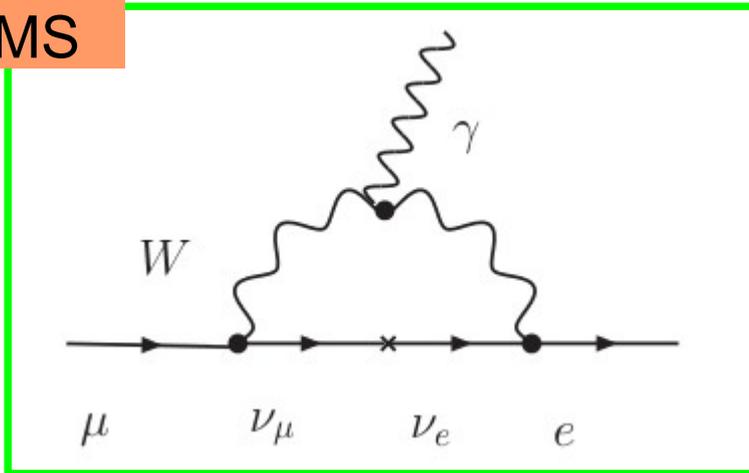
Prof. C. Dionisi

Roma 14/6/2012



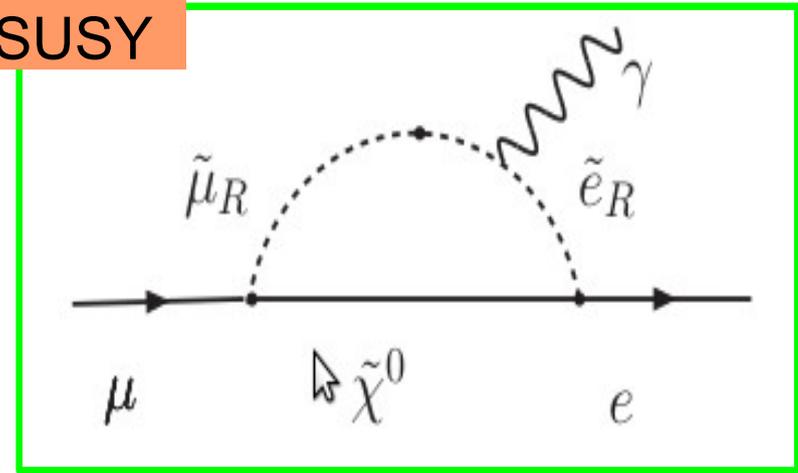
Il decadimento del μ : MS vs Nuova fisica

MS



$$\left(\frac{M_\nu}{M_w}\right)^2 = 10^{-55} \div 10^{-51}$$

SUSY



$$\left(\frac{M_{\tilde{\chi}^0}}{M_w}\right)^2 = 10^{-14} \div 10^{-13}$$

Se BR fosse di 10^{-13} sarebbe necessario
fascio molto intenso di μ : $R_\mu = 10^7 \div 10^8 \mu/s$

Un anno (10^7s) di raccolta dati e un'accettanza geometrica del 10%
Per avere la possibilità di vedere almeno un evento.



Il segnale e il fondo

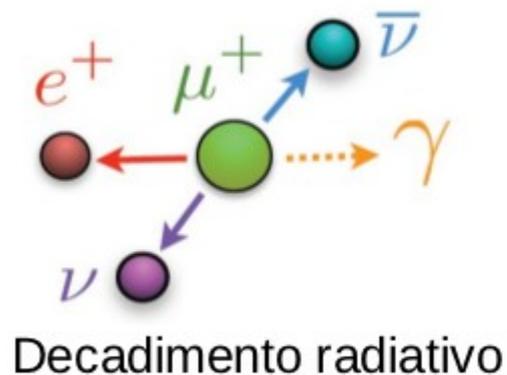
Il μ decade in quiete tramite un processo a due corpi:

Vincoli della cinematica:

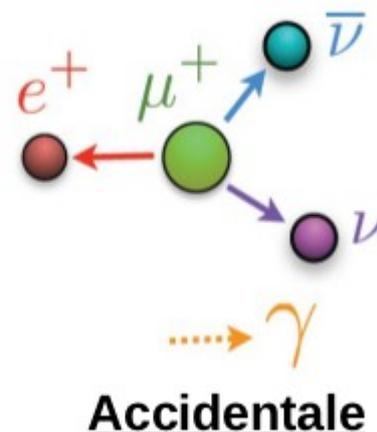
- 1) $E_\gamma = E_{e^+} = 52.8 \text{ MeV} = m_\mu/2$ ($m_{e^+} = 0$)
- 2) Prodotti simultaneamente $\Delta t_{e\gamma} = 0$
- 3) $\theta_{e^+\gamma} = 180^\circ$



Eventi di fondo:



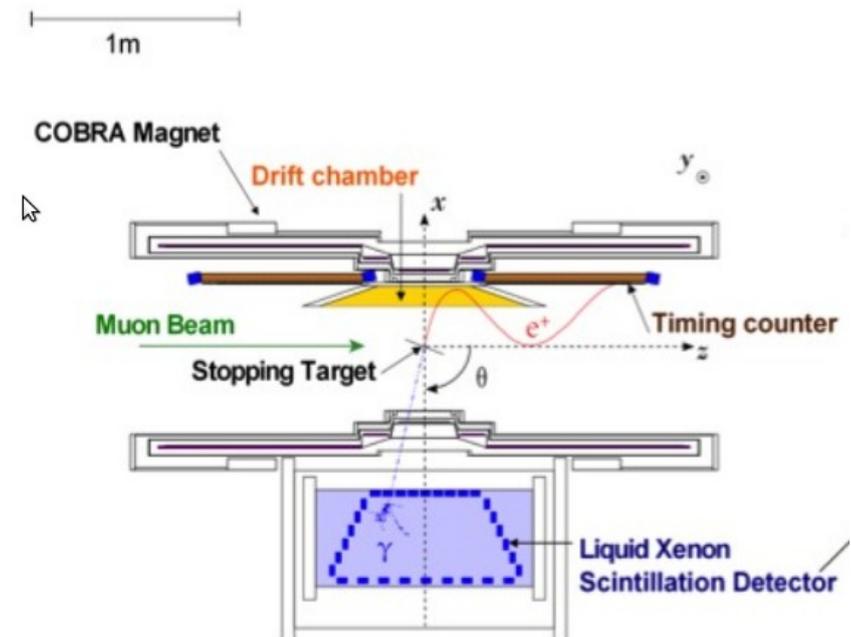
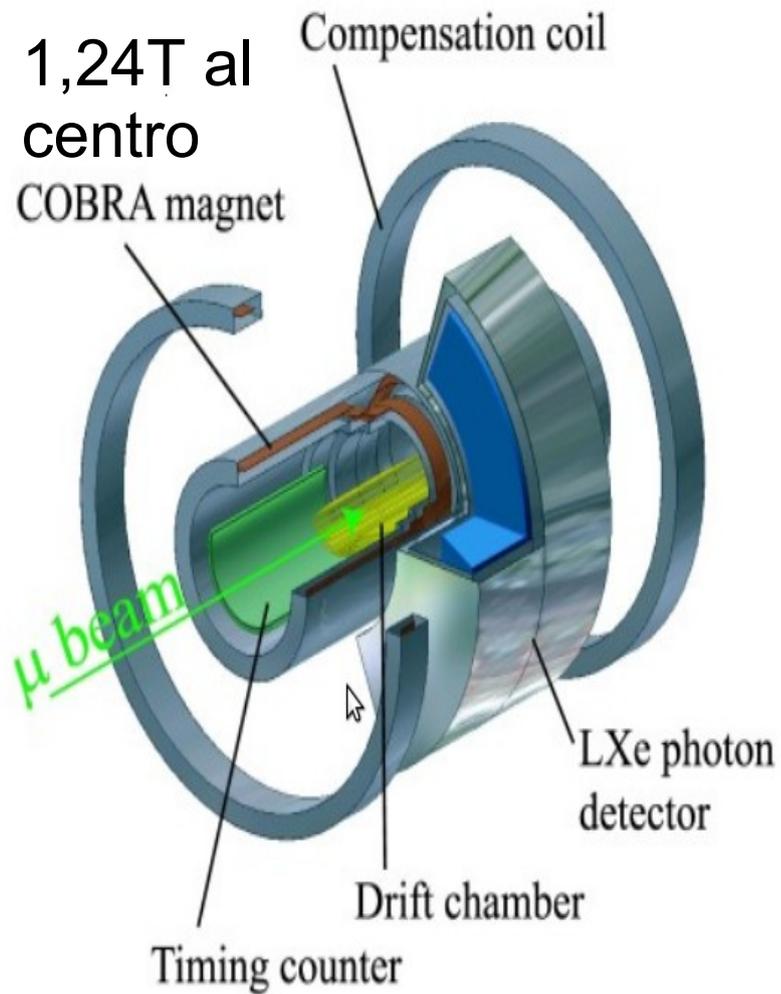
+



Si associa un γ ad un e^+ appartenenti a due decadimenti diversi (costituisce la maggior parte degli eventi di fondo)



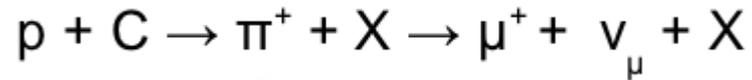
L'apparato sperimentale (I)





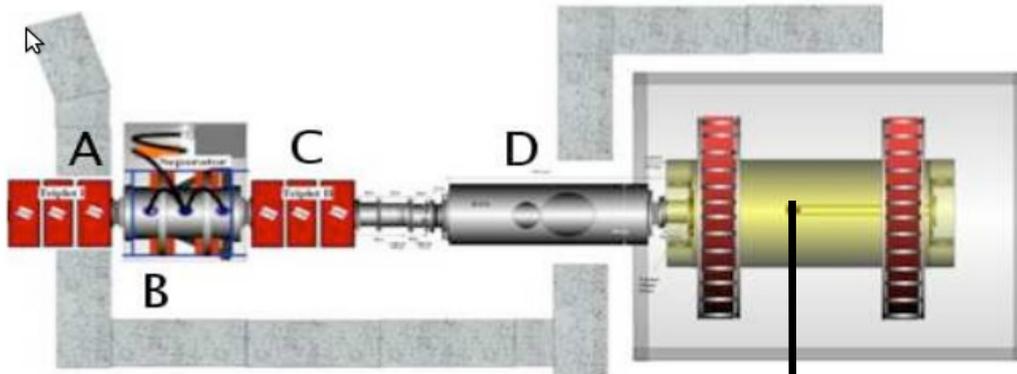
L'apparato sperimentale (II)

PSI: Ciclotrone accelera protoni ($E_p=590\text{MeV}, I=2,2\text{mA}$)



$\pi E5$ canale MEG: Flusso di μ più alto al mondo

Muoni di superficie: $T_\mu=3,6 \text{ MeV}$ $p_\mu= 29\text{MeV}$



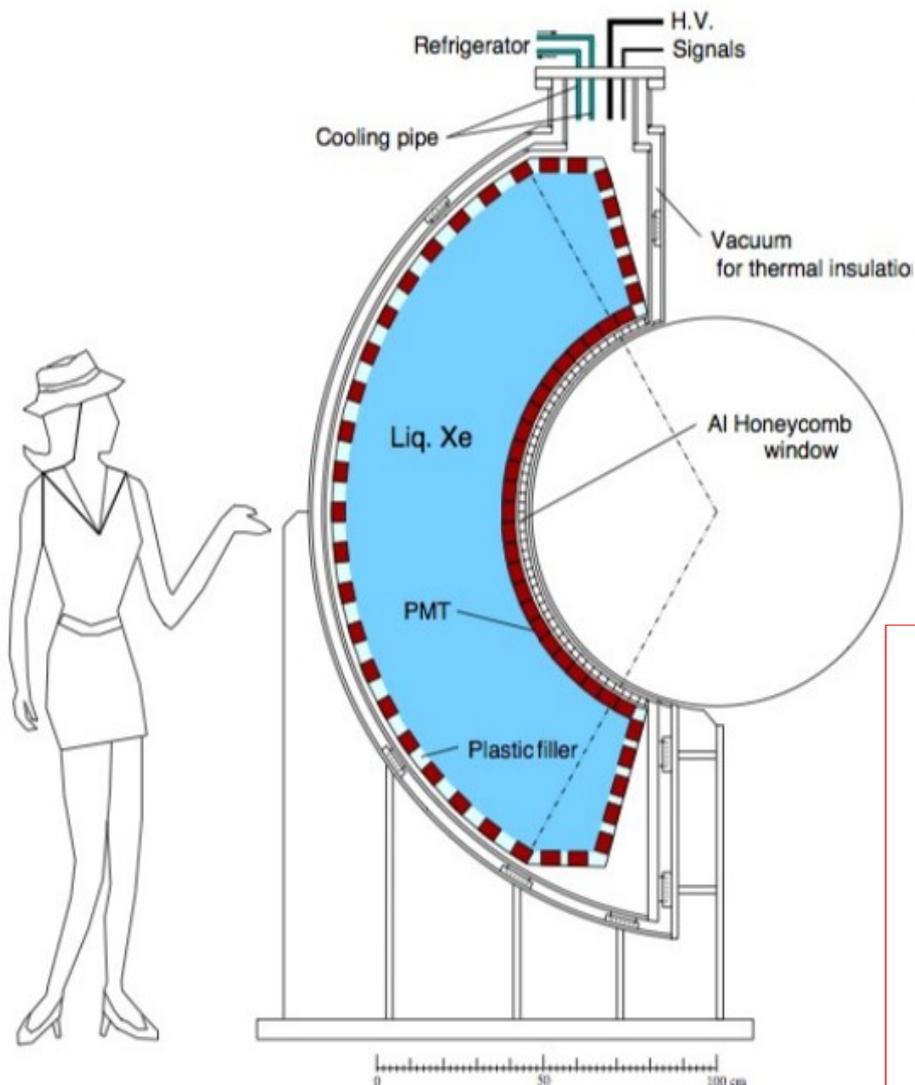
- A= quadrupolo
- B= Wien filter
- C= quadrupolo
- D=solenoid + degrader

Bersaglio:
 CH_2 (polietilene)
Area: $210 \times 77 \text{mm}^2$
Spessore: $205 \mu\text{m}$



Il calorimetro a LXe: proprietà

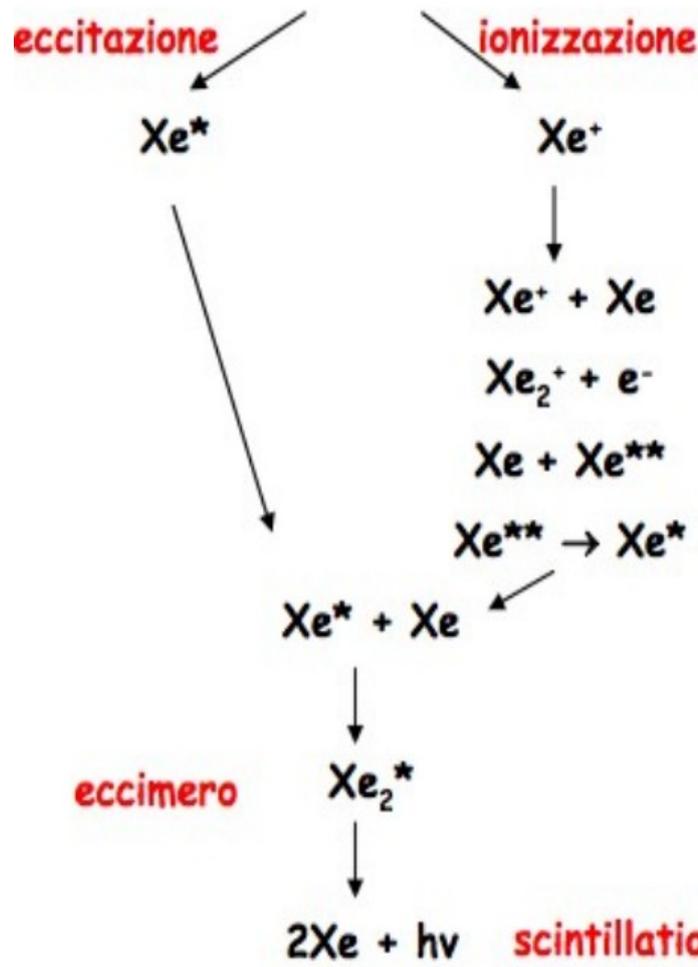
- Alta resa di luce
- Alto Z calorimetro compatto
- Risposta veloce 4 ai 22 ns
- Necessita di un apparato criogenico per mantenerlo liquido $T \sim 165 \text{ K}$ (-108° C)



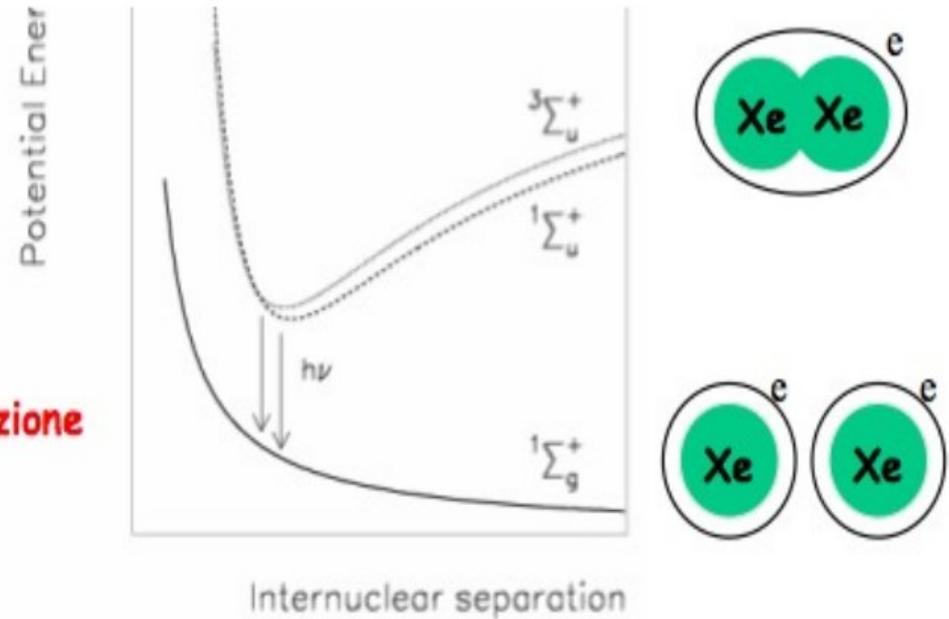
	Ar	Kr	Xe
$\rho(g/cm^3)$	1.39	2.45	2.98
Z	18	36	54
$\lambda_{scint}(nm)$	128	147	178
Boiling T(K)	87.3	119.9	167.1
dE/dx (m.i.p.) (MeV/cm)	2.11	3.45	3.89
$X_0(cm)$	14.0	4.76	2.87
Moliere radius (cm)	7.3	4.7	4.1
$\tau_1(ns)$	6	2	4
$\tau_3(ns)$	1000	91	22
$\tau_r(ns)$	-	-	45



Il processo di scintillazione



ricombinazione



- $\tau_{\text{singlet}} = 4.2 \text{ ns}$
- $\tau_{\text{triplet}} = 22 \text{ ns}$
- $\tau_{\text{recomb}} = 45 \text{ ns}$



Le proprietà ottiche

Misura del numero di photoelettroni raccolti da raggi cosmici nel tempo durante la purificazione:

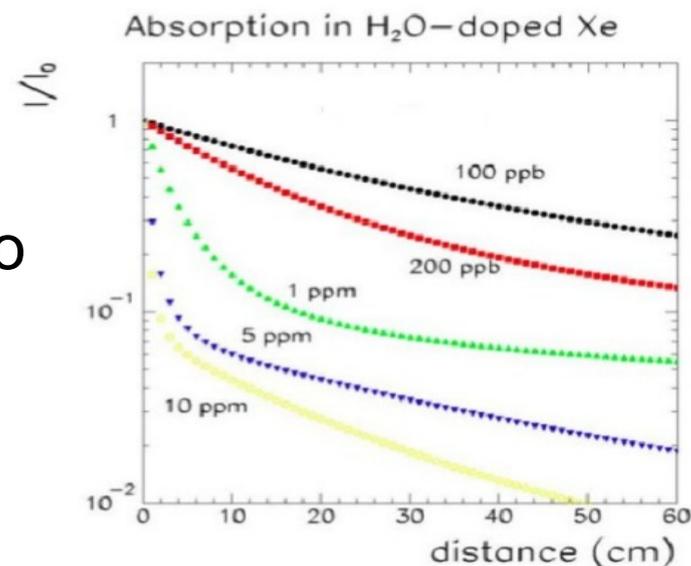
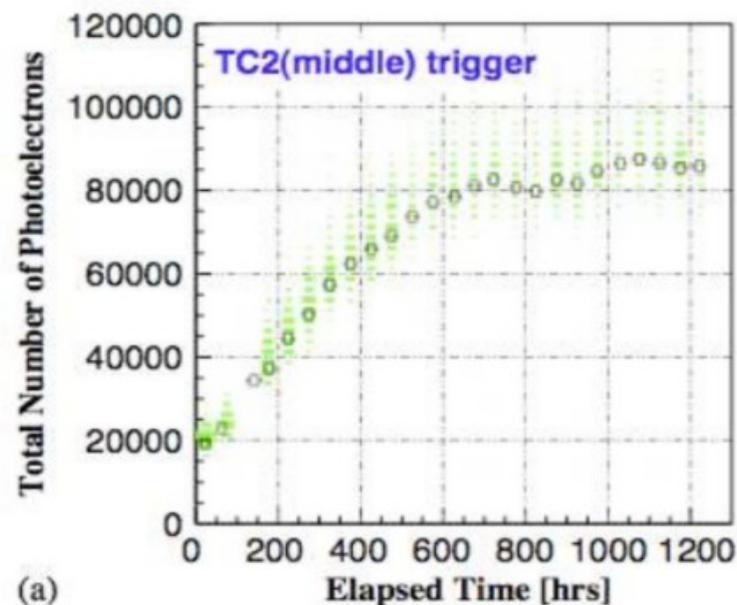
$$I(x) = I_0 e^{(-x/\lambda_{att})}$$

$$\frac{1}{\lambda_{att}} = \frac{1}{\lambda_{ass}} + \frac{1}{\lambda_{diff}}$$

- λ_{diff} = lunghezza di diffusione (Rayleigh scattering)
- λ_{ass} = lunghezza di assorbimento

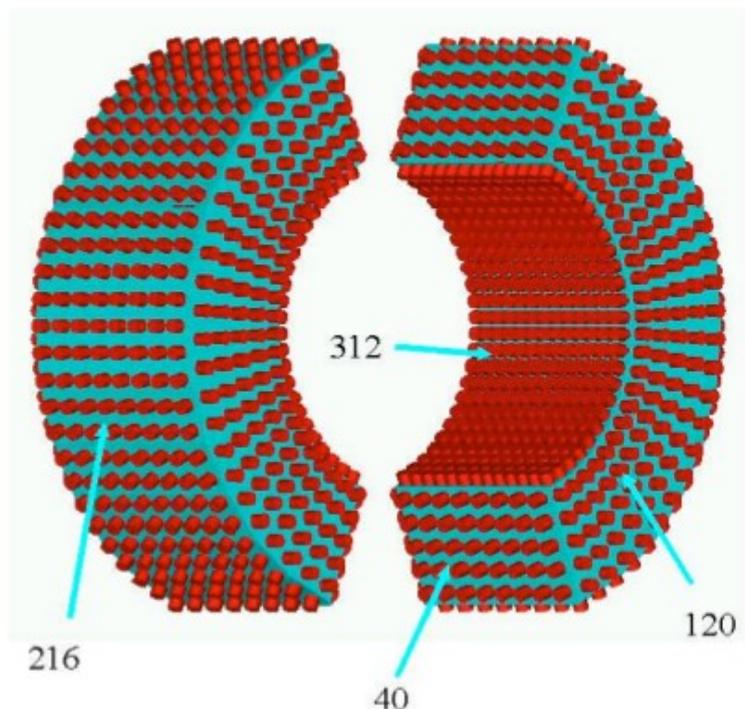
Nel Xe la $\lambda_{ass} = \infty$ l'unico assorbimento è dovuto alla presenza di H_2O e O_2

→ **necessario purificatore.**





PMT: Fotomoltiplicatori



- Q.E. $\sim 12-14\%$
- Gain $\sim 10^6$
- Buona stabilità ad alti rate;
- Buona stabilità a basse temperature;
- Lxe scintilla nel uv (178nm)
→Pmt particolari

Table 6.2: PMT distribution on the LXe calorimeter side walls.

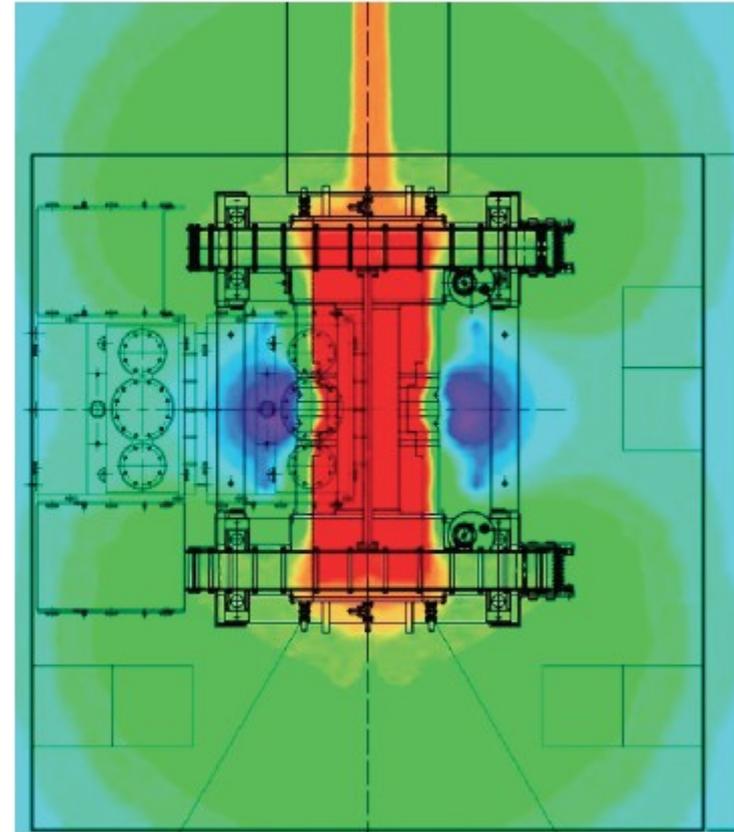
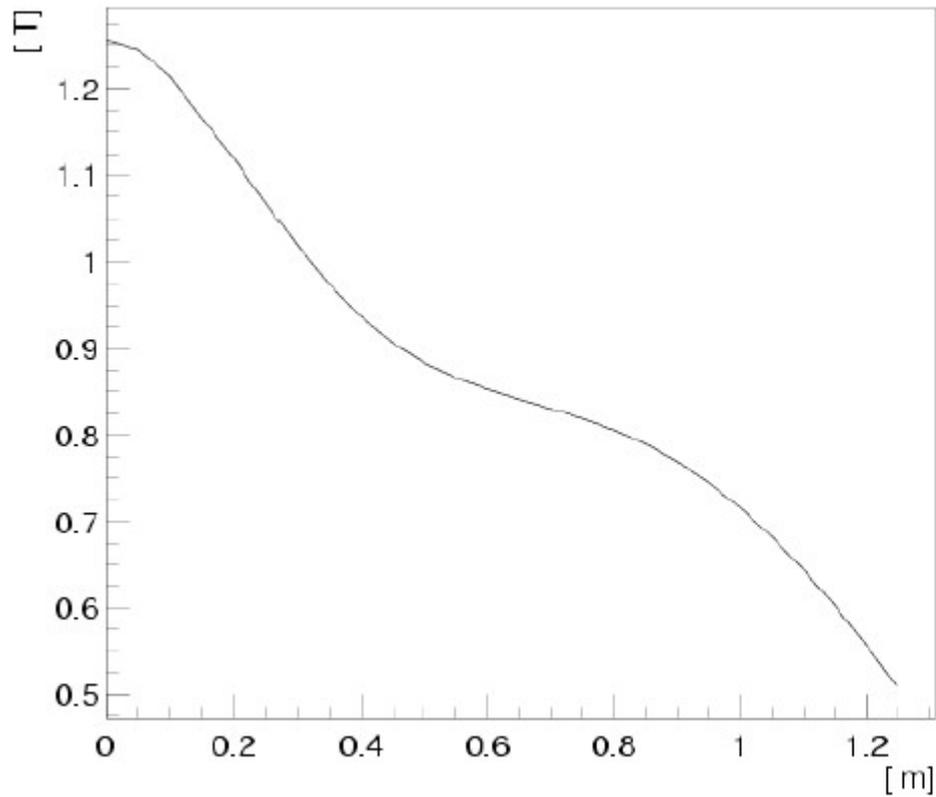
Surface	PMT number
Inner side	312
Outer side	216
Lateral sides ($\times 2$)	240
Top and bottom sides ($\times 2$)	80
Total	846

Hamamatsu
R9288



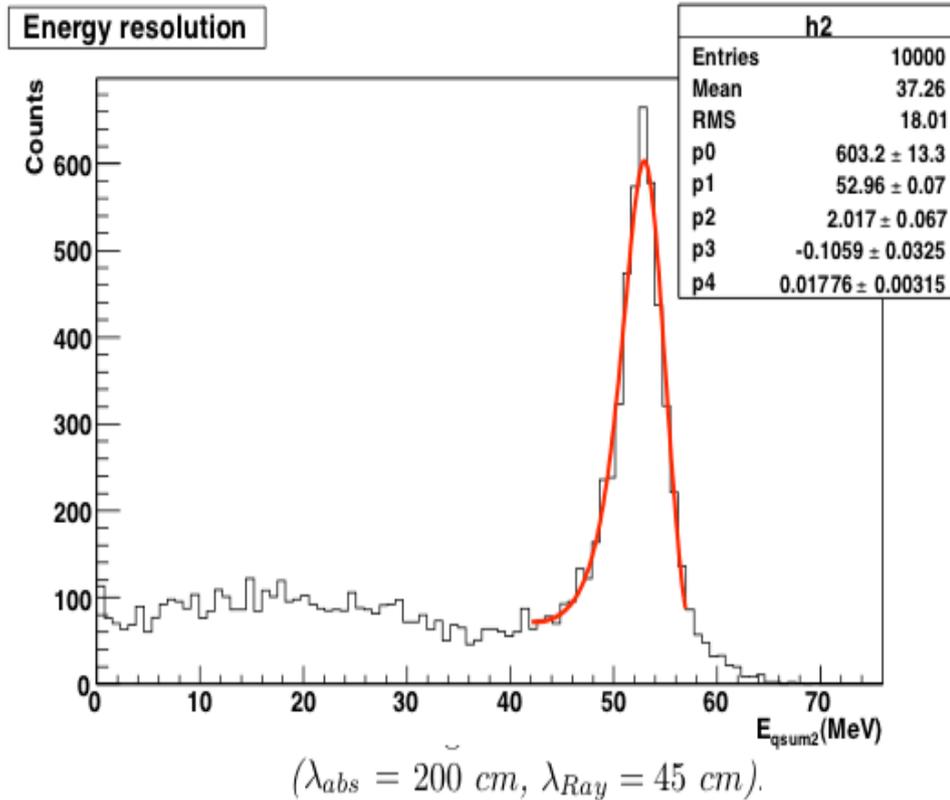


PMT nel campo magnetico





Stima dell'energia



$$E_{Qsum} = \sum c_i Q_i$$

$$c_i(d_i; g_i; nq_i)$$

Risoluzione attuale

$$\frac{\Delta E_\gamma}{E_\gamma} (FWHM) = 9\% \quad \text{Dove } E_\gamma = 52,8 \text{ MeV}$$

$$\frac{\Delta E_\gamma}{E_\gamma} (FWHM) = 4,5 \%$$



Misura dei tempi

$$T_0 = T_i^{tw} - \frac{\rho_{\text{int}}}{c} - \frac{|R_{\text{int}} - P_i| n_{\text{Xe}}}{c} - T_{\text{PMT}} - T_{\text{dly}}$$

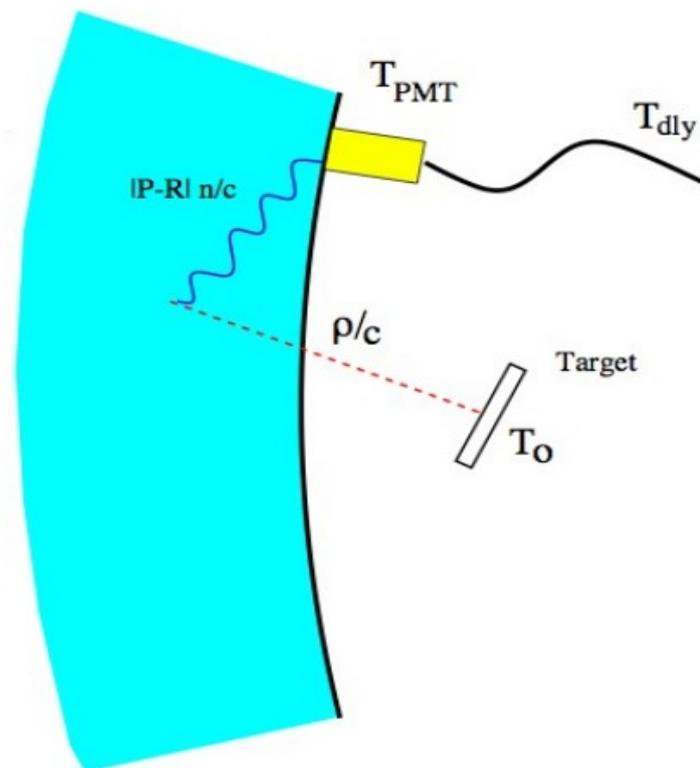
T_i^{tw} : Tempo misurato da ogni PMT

ρ_{int} : Cammino prima del punto di conversione

$|R_{\text{int}} - P_i|$: percorso dello sciame e.m (è una media)

T_{PMT} : ritardo intrinseco del PMT

T_{dly} : ritardo dal PMT alla digitalizzazione



Risoluzione attuale

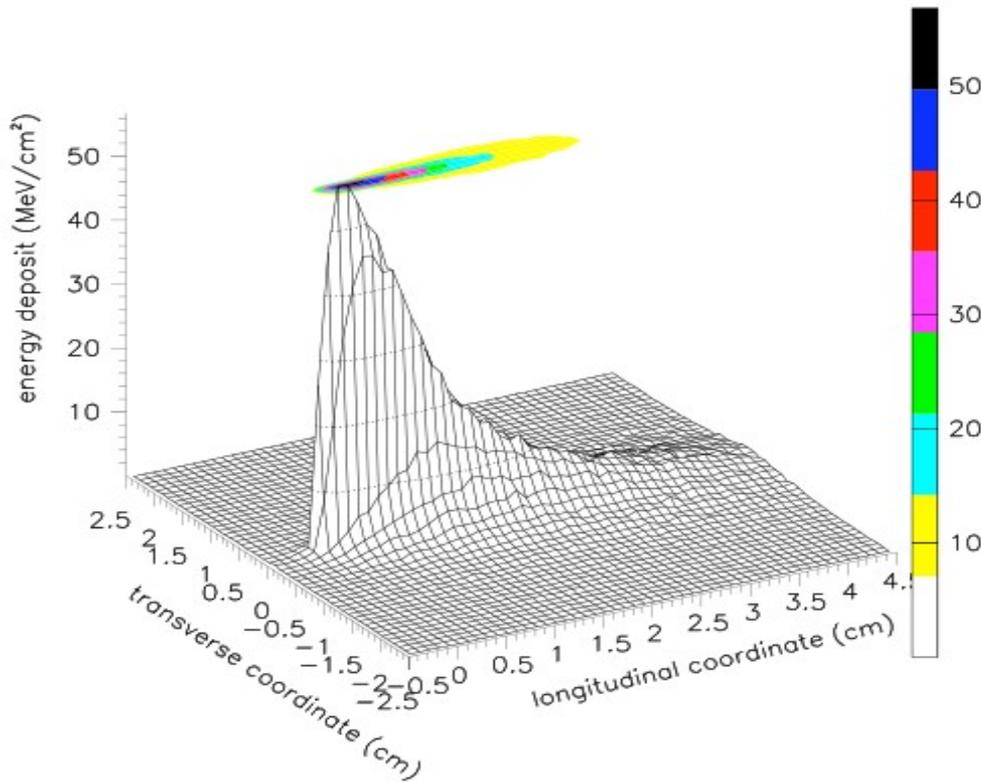
$\Delta t(\text{FWWM}) = 120 \text{ ps}$

12

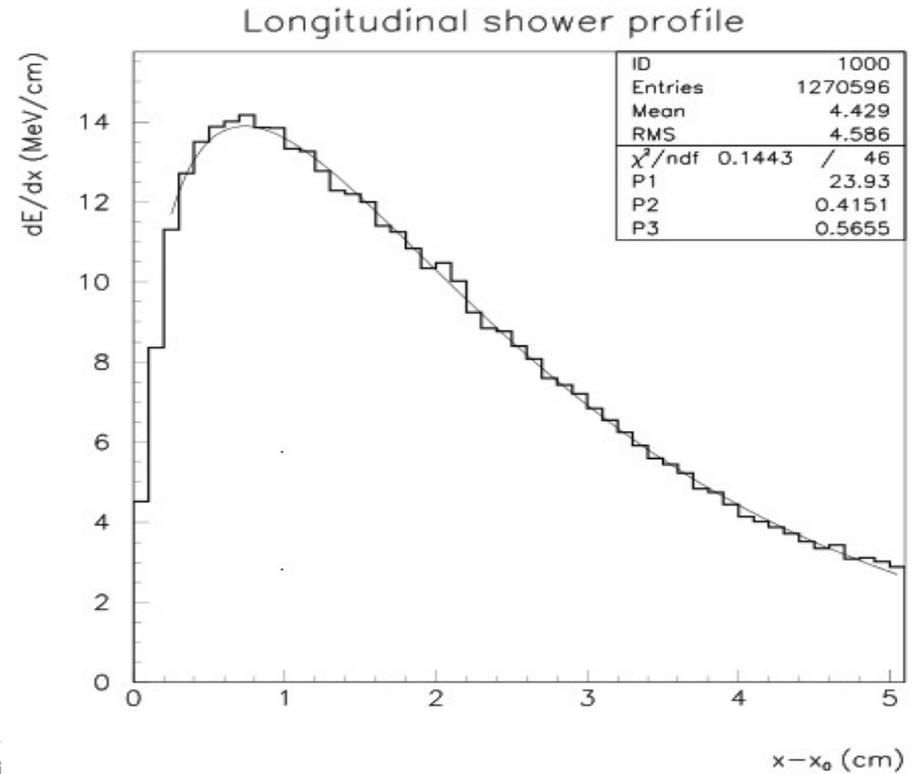


Misura del punto di conversione

Si considerano solo i PMT interni.



$$\bar{x} = \frac{\sum x_i Q_i}{\sum Q_i} \quad \bar{y} = \frac{\sum y_i Q_i}{\sum Q_i}$$
$$\bar{z} = \frac{\sum z_i Q_i}{\sum Q_i}$$



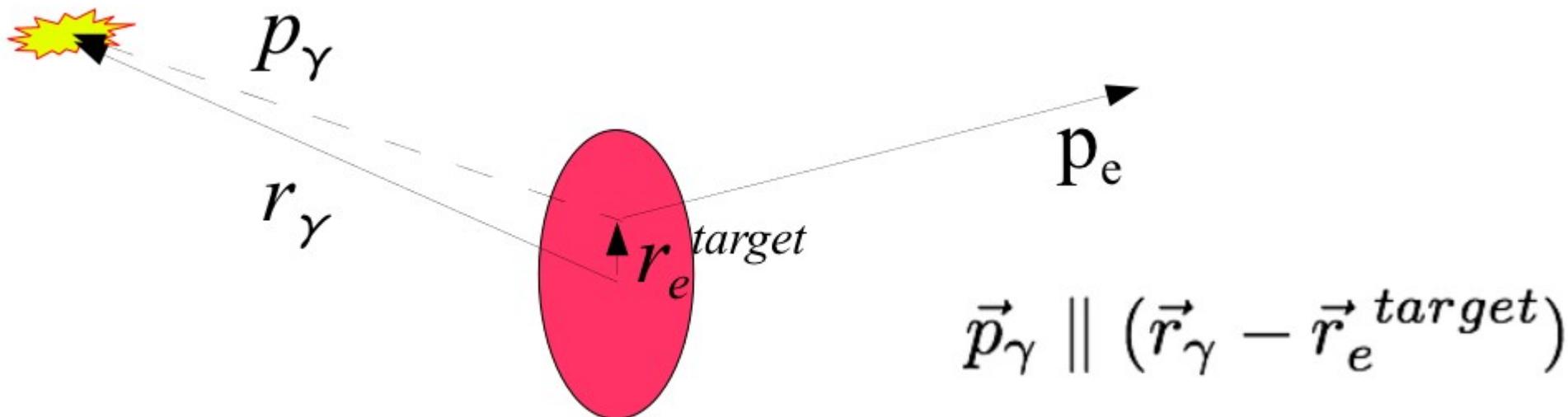
Risoluzione attuale

$\Delta x(\text{FWWM}) = \Delta y(\text{FWWM}) = 1,5 \text{ cm}$



Misura dell'angolo relativo

La posizione del punto di conversione è necessaria per individuare la direzione (angolo) del vertice di decadimento. La direzione del fotone viene ottenuta dalla traccia del positrone nelle DRIFT chamber.



\underline{p}_e = direzione del positrone

\underline{p}_e^{target} = proiezione della direzione del positrone sulla targhetta

\underline{r}_γ = punto di conversione misurato nel calorimetro

\underline{p}_γ = direzione del fotone ottenuta.

Risoluzione attuale

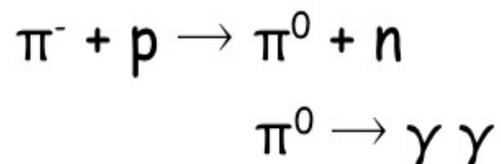
$\sigma_\theta = 18 \text{ mrad}$

$\sigma_\phi = 10 \text{ mrad}$



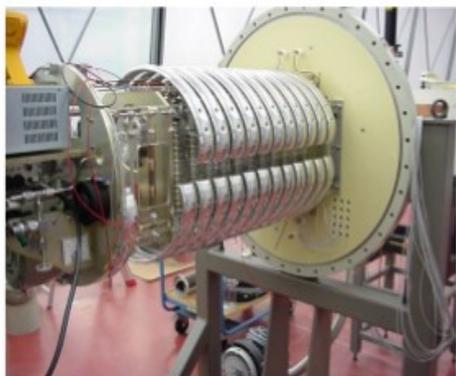
Calibrazione

Charge Exchange (CEX)



Fotoni di alta energia per calibrare energia & Tempi relativi

Cockcroft-Walton (CW) Accelerator



Targhetta di litio terborato

Fotoni di bassa energia per calibrare l'energia & I tempi relativi

LED

Installati nel XeC

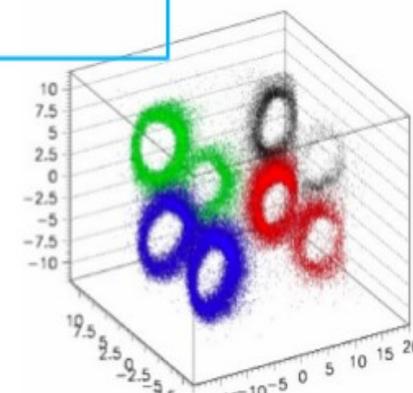
Misura del guadagno dei PMT



α sources

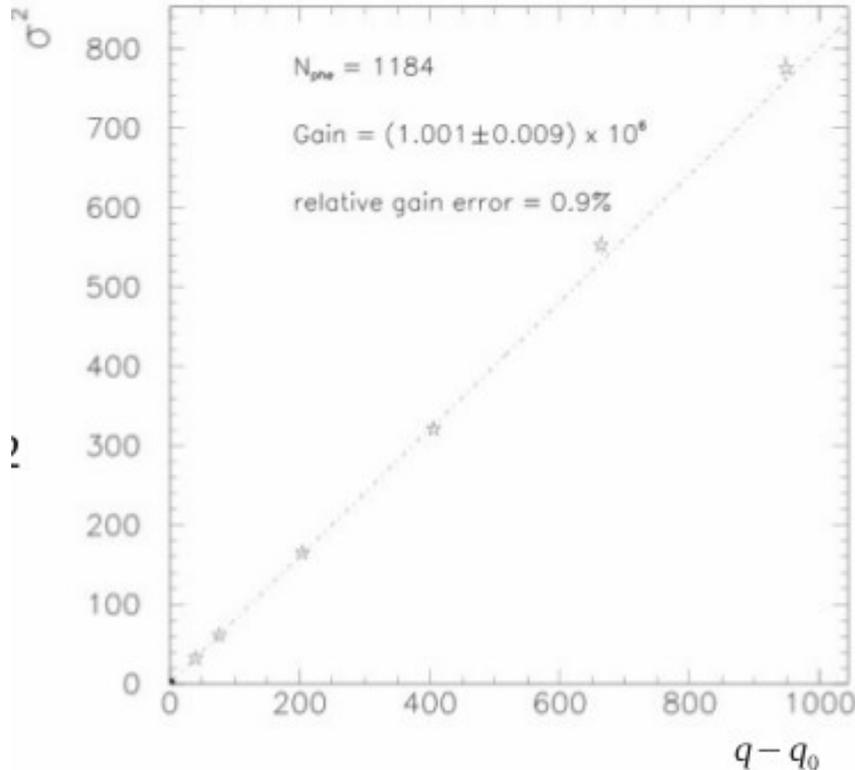
Installati nel XeC
Su dei fili di tungsteno

Misura dell'efficienza quantica,
Della lunghezza di attenuazione
Della posizione





Led: Misura del guadagno dei PMT



- Se la carica anodica sul PMT è lineare con N

$$q = gN + q_0$$

$$\sigma^2 = g^2 + \sigma_0^2$$

$$\sigma^2 = g(q - q_0) + \sigma_0^2$$

- Attraverso un fit lineare è possibile calcolare il guadagno
- $G = 10^6$ con HV = 800V

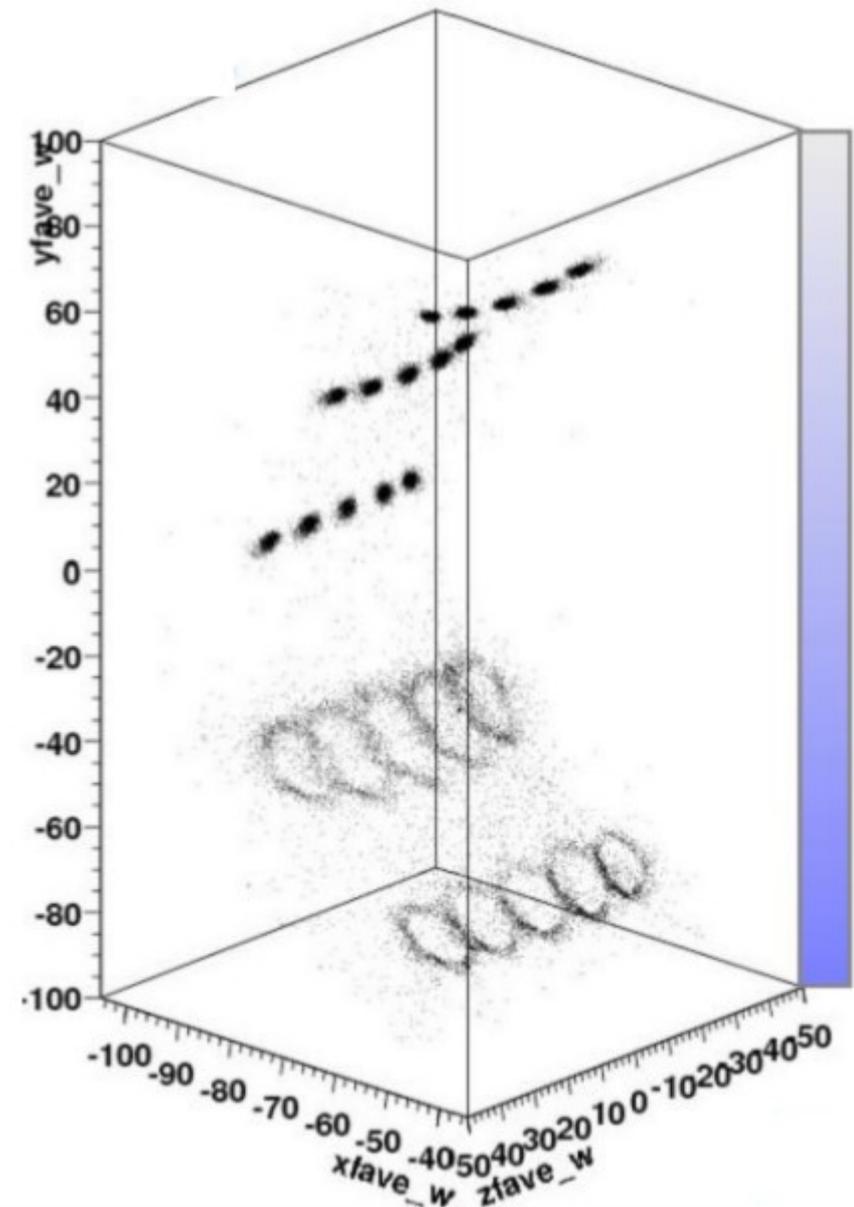
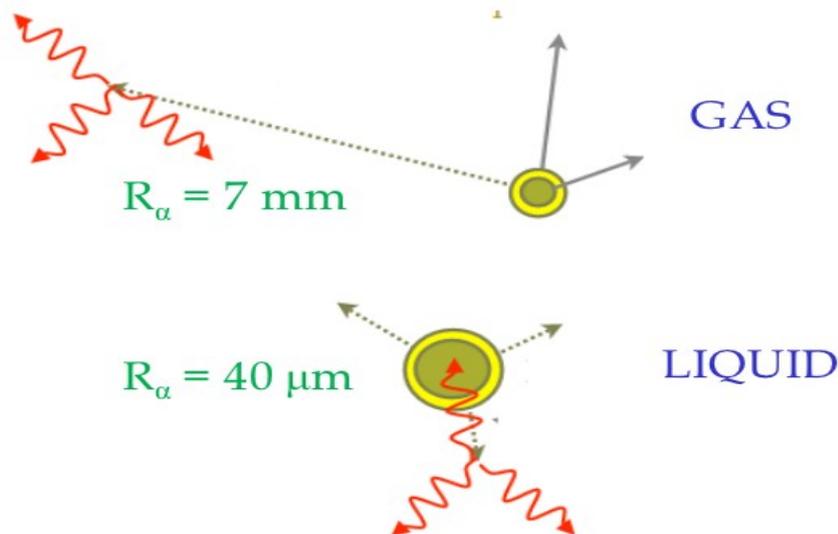
Eseguita giornalmente



Sorgenti α : Misura dell'efficienza quantica

- α emessi da Americium depositata su fili di Tungsteno (100 μm).
- Dati confrontati con dati MC \rightarrow dal fit si misura E.Q.

Calibrazione durante la presa dati.





Calibrazione: CEX

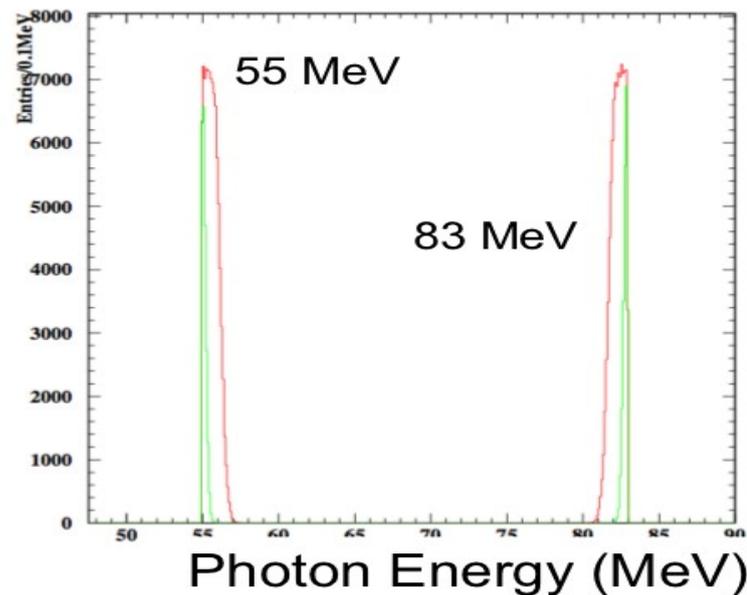
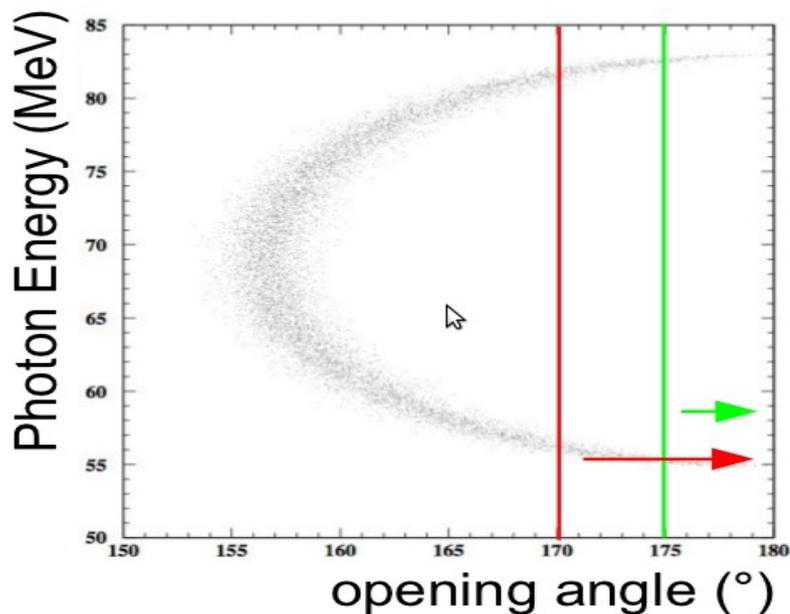
- $\pi^- + p \rightarrow \pi_0 + n$
- $\pi_0 \rightarrow \gamma + \gamma$

fotoni monocromatici

-Fotoni con energia simile all'energia del segnale

-R $\sim 106 \pi_0/s$ ottenuti con $\pi E5$.

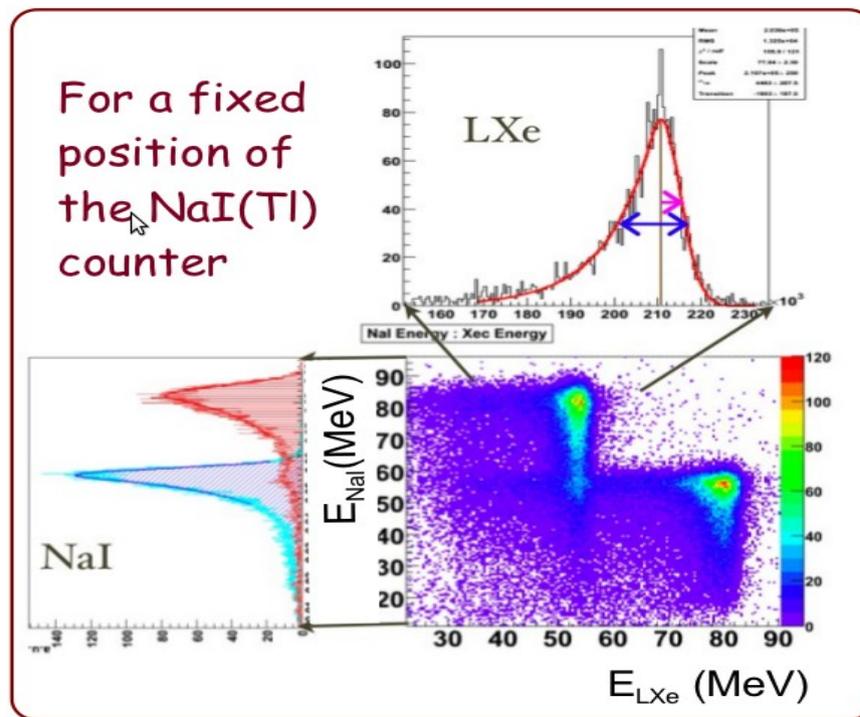
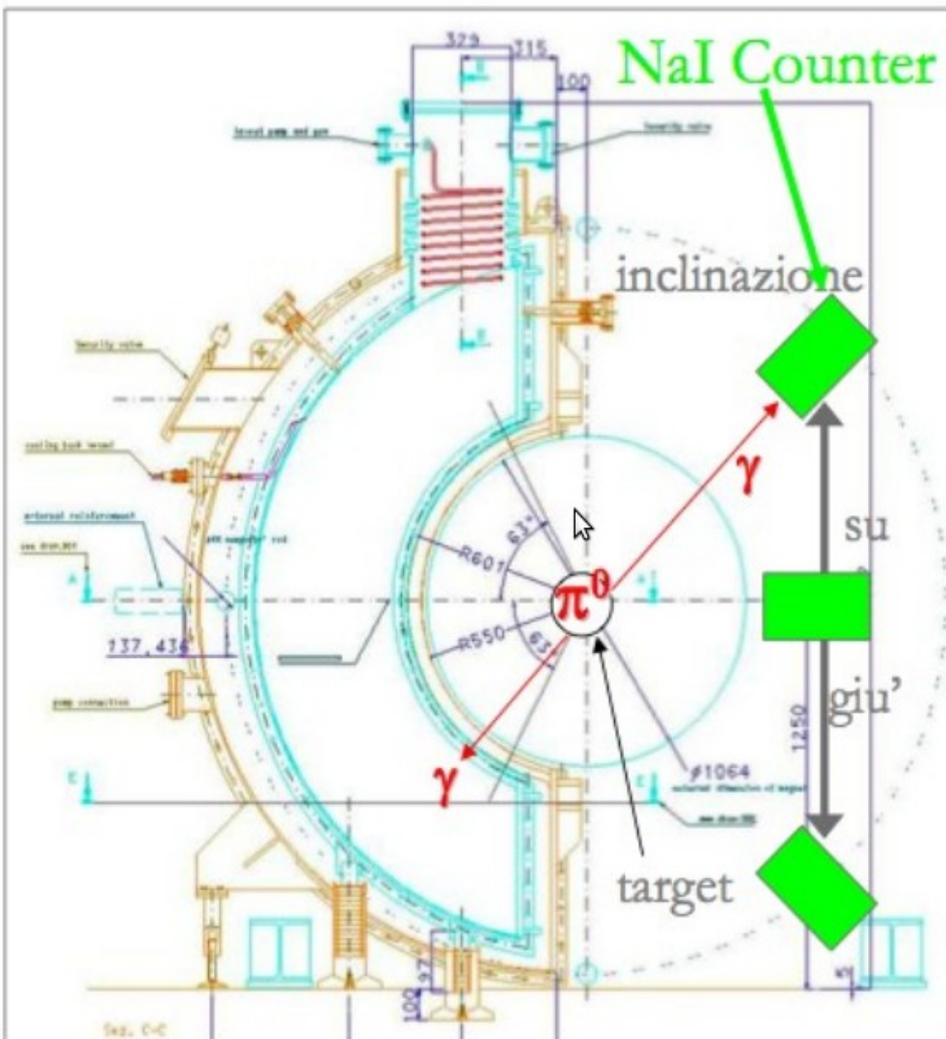
-Fotoni simultanei \rightarrow calibrazione dei tempi





CEX

- È necessario NaI detector:
- 8 x 8 array di scintillatori
 - $63.5 \times 63.5 \times 406 \text{ mm}^3$ ognuno;

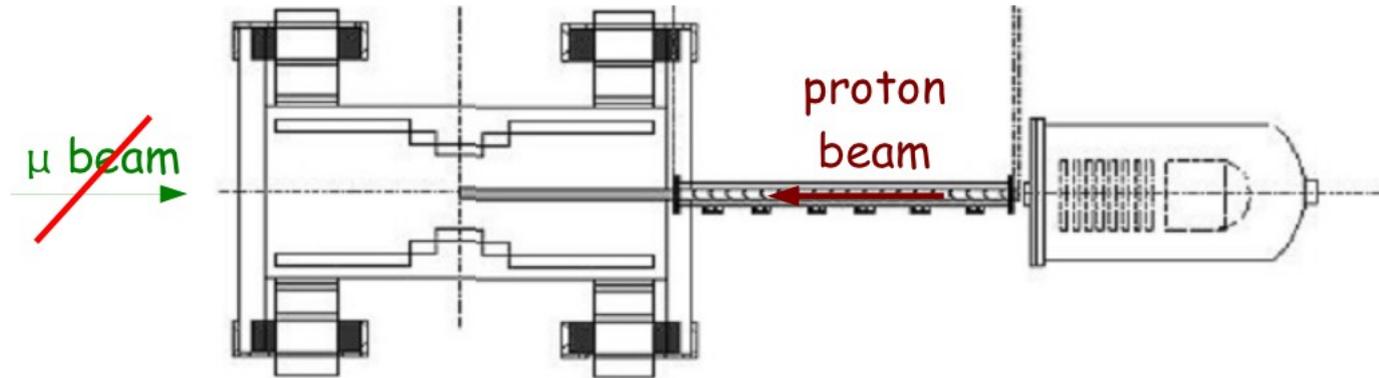


Occorre cambiare la configurazione dell'apparato sperimentale, si fa prima e dopo la presa dati.



Cockcroft-Walton $^{11}_5\text{B}(p,\gamma)^{12}_6\text{C}$

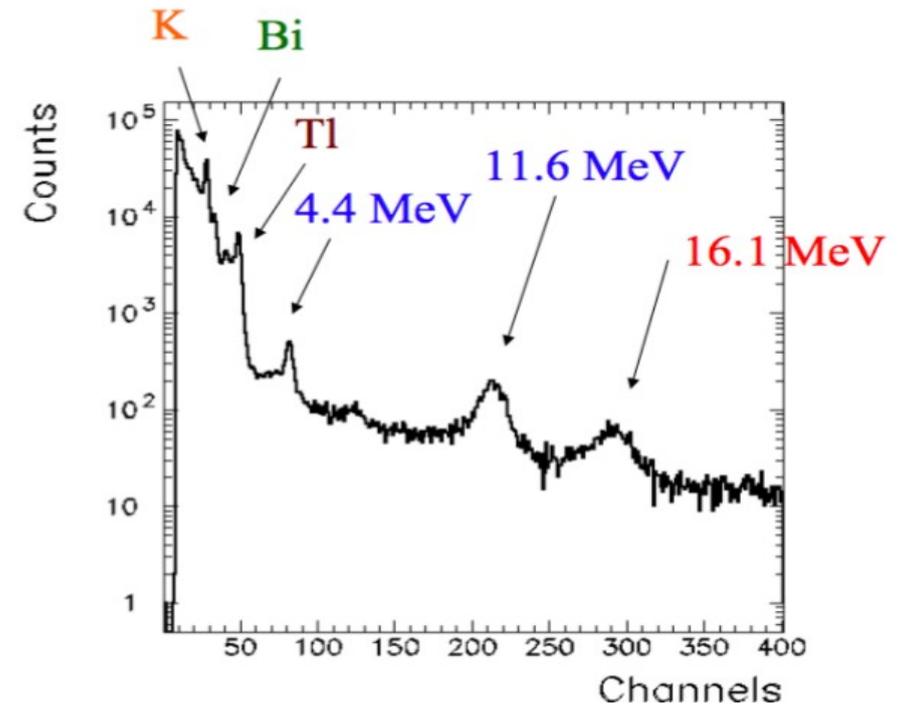
Si usa una targhetta di litio terborato: $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$



3 fotoni con energia:

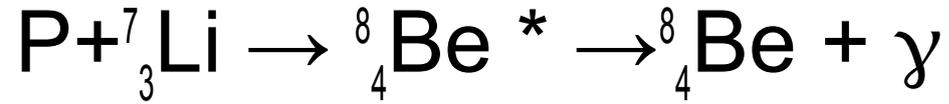
(16,1; 11,7 ; 4,4)MeV

Prodotti simultaneamente

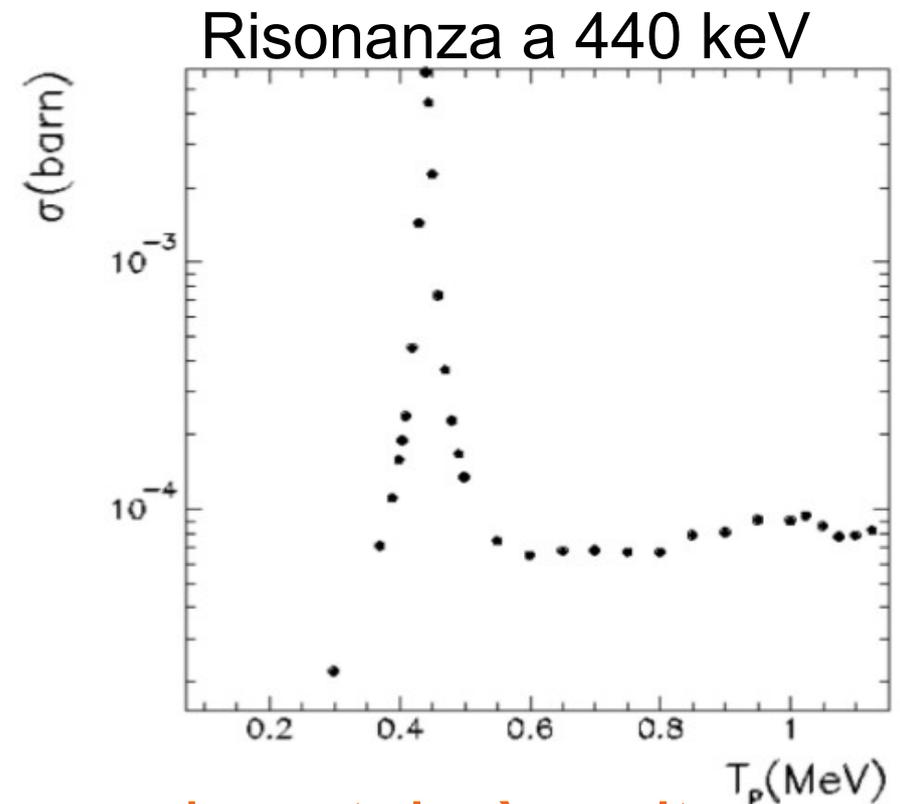
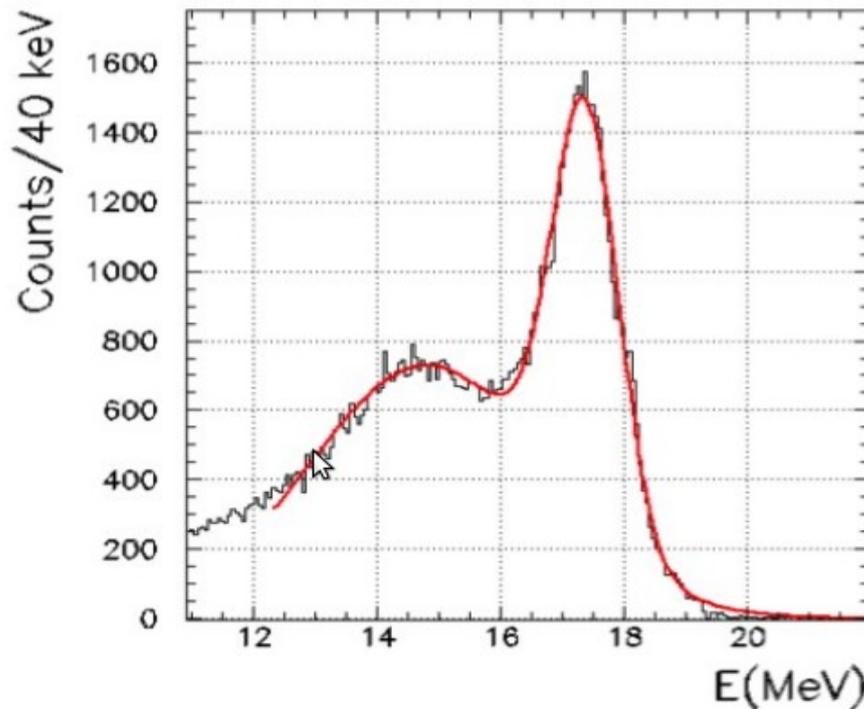




Cockcroft-Walton ${}^7_3\text{Li} (p, \gamma) {}^8_4\text{Be}$



Emissione di 2 γ con energie:
14.6 MeV e 17.6 MeV



La configurazione dell'apparato sperimentale è molto rapida. Si fa 3 volte a settimana



Conclusioni

Performance:

- Energia : 1.7% (profondità > 3 cm)
- Posizione : 5 mm
- Tempo: 67 ps
- Efficienza di rivelazione : $65.5 \pm 1.5\%$

Possibile Upgrade:

Si sostituisce dei PMT interni con PMT più piccoli o PPD (Pixelated Photon Detector, dispositivi allo Stato solido.)

Ottenendo: risposta uniforme, maggiore granularità

Si può migliorare la risoluzione?

