



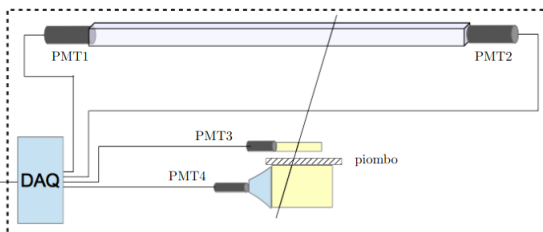
UNIVERSITÀ DI PISA

Misura del tempo di volo dei raggi cosmici

Alberto Montanelli

Laboratorio di Interazioni Fondamentali
Facoltà di Fisica

Obbiettivi dell'esperienza e Setup sperimentale

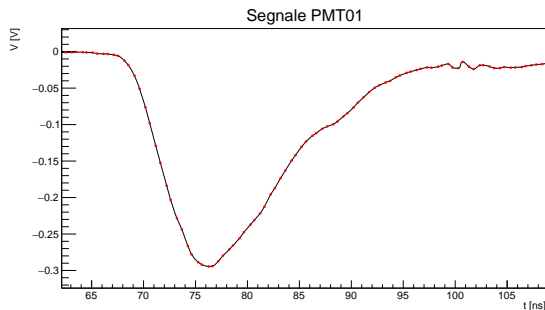


Obbiettivi:

- Misura della velocità di propagazione della luce nella barra di scintillatore;
- Misura del tempo di volo e della velocità dei raggi cosmici;
- Rivelazione componente non relativistica dei raggi cosmici.

Strumentazione:

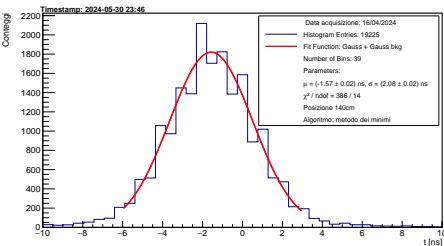
- Barra di scintillatore plastico (PMT01 e PMT02) 4x4x280cm;
- Scintillatore mobile(PMT03) 21x5x3cm;
- Scintillatore piano (PMT04) 40x100cm;
- Moduli NIM (discr., AND, OR, DUAL TIMER);
- DRS: digitalizzazione segnali analogici con frequenza max di 5Gs/s.



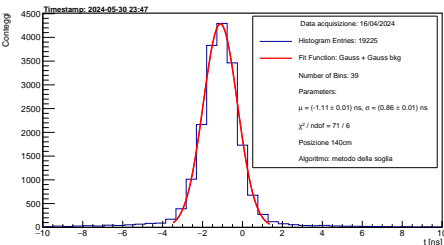
Distribuzioni delle differenze temporali

Scelta dell'algoritmo per l'istante temporale di arrivo del segnale:

ΔT tra PMT01 e PMT02



ΔT tra PMT01 e PMT02

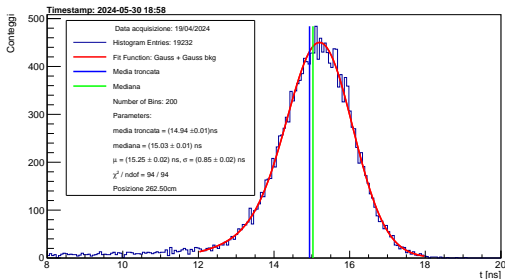


Constant fraction discrimination

Stimatori:

- μ : 15.25 ± 0.02 (stat.+sist.) ns;
- Mediana:
 15.03 ± 0.01 (bootstrapping)ns;
- Media troncata:
 14.94 ± 0.01 (bootstrapping)ns.

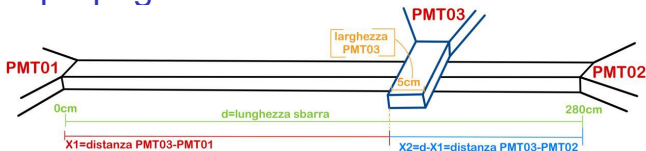
ΔT tra PMT01 e PMT02



Risoluzione temporale:

$$\frac{\sigma}{\sqrt{2}} = (0.60 \pm 0.01) \text{ ns}$$

Velocità di propagazione e retta di calibrazione



Velocità di propagazione:

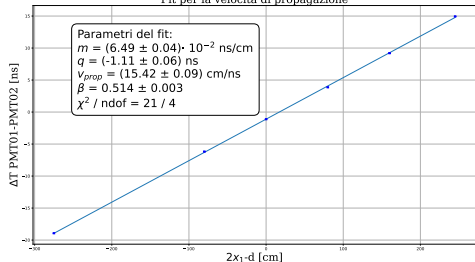
$$\Delta t_{\text{PMT01-PMT02}} = m \cdot (x_1 - x_2 = 2x_1 - d) + q$$

Retta di calibrazione:

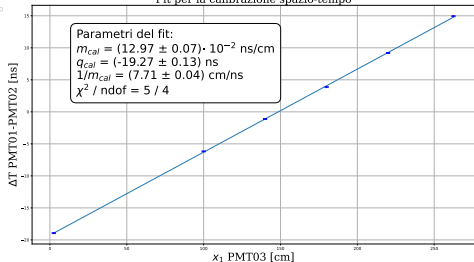
$$\Delta t_{\text{PMT01-PMT02}} = m \cdot x_1 + q$$

$\chi/\text{ndof} \rightarrow \mu$: 35/4; mediana: 25/4; media troncata: 21/4.

Fit per la velocità di propagazione

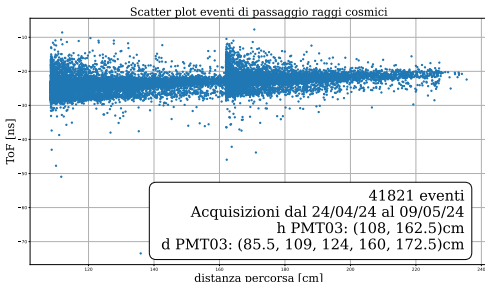
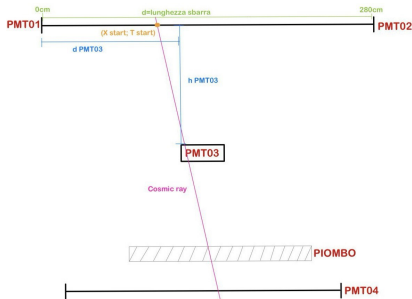


Fit per la calibrazione spazio-tempo



	m [ns/cm]	q [ns]	$1/m$ [cm/ns]
fit per la velocità di propagazione	$(6.49 \pm 0.04) \cdot 10^{-2}$	-1.11 ± 0.06	15.42 ± 0.09
fit per la calibrazione	$(12.97 \pm 0.07) \cdot 10^{-2}$	-19.27 ± 0.13	7.71 ± 0.04

ToF e velocità dei raggi cosmici



$$X_{start} = \frac{(T_{PMT01} - T_{PMT02}) - q_{cal}}{m_{cal}}$$

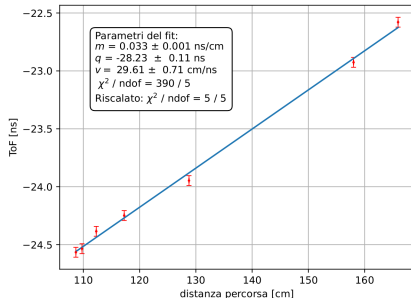
$$dist. = \sqrt{(x_{start} - d_{PMT03})^2 + h_{PMT03}^2}$$

$$\Delta t_1 = \frac{X_{start}}{v_{prop}} = \frac{(T_{PMT01} - T_{PMT02}) - q_{cal}}{m_{cal} \cdot v_{prop}}$$

$$t_{start} = T_{PMT01} - \Delta t_1$$

$$ToF = T_{PMT03} - t_{start} \wedge m_{cal} \cdot v_{prop} = 2$$

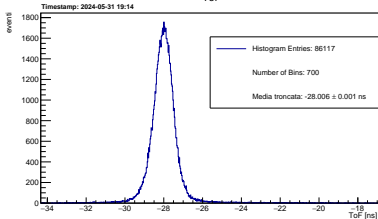
$$\rightarrow ToF = T_{PMT03} - \frac{T_{PMT01} + T_{PMT02}}{2} + \frac{q_{cal}}{2}$$



$$v_{media} = (29.61 \pm 0.71) \text{ cm/ns}; \quad \beta_{media} = 0.99 \pm 0.02$$

Ricerca componente non relativistica

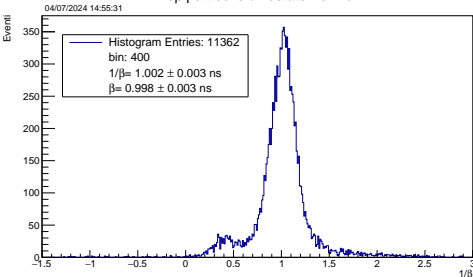
ToF



Costante di offset:

- Fit velocità media raggi cosmici:
 $q = c_{\text{offset}} = (-28.23 \pm 0.11) \text{ ns}$
- ToF con PMT03 a contatto con la sbarra:
 $c_{\text{offset}} = (-28.006 \pm 0.001) \text{ ns}$
- media e errore standard:
 $c_{\text{offset}} (28.12 \pm 0.08) \text{ ns}$

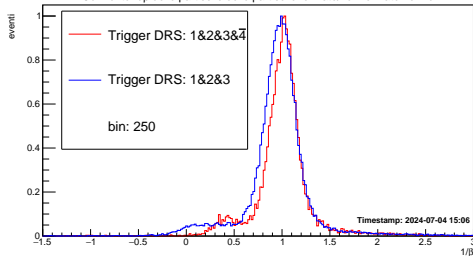
$1/\beta$ particelle arrestate nel Pb



$$v = \frac{\text{distanza percorsa}}{\text{ToF} + c_{\text{offset}}}; \quad \beta = \frac{v}{c}$$

Stimatore: media \pm err. standard

Confronto $1/\beta$ delle particelle delle particelle fermate/non fermate nel Pb



Trigger DRS	$1/\beta$	β
1&2&3	0.959 ± 0.002	1.042 ± 0.002
1&2&3&4	1.002 ± 0.003	0.998 ± 0.003

Ricerca componente non relativistica tramite decadimenti

Selezione particelle che si arrestano e decadono nel piombo:

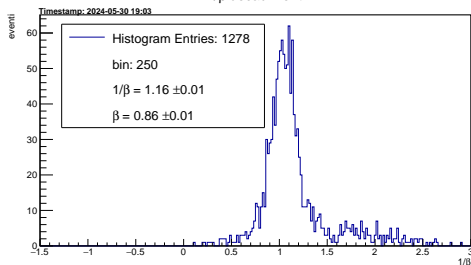
- Segnale di START: $1 \& 2 \& 3 \& \bar{4}$
- GATE: START allargato a $5 \mu\text{s}$
- Segnale di STOP: $\text{GATE} \& (3 \vee 4) \& \bar{2}$

Rivelazione dei decadimenti:

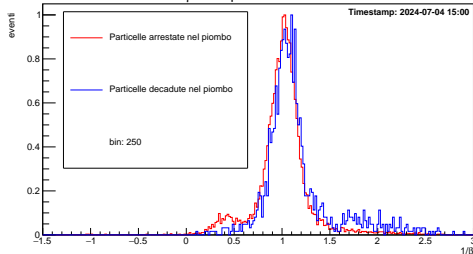
- START e STOP allargati a 60ns;
- trigger DRS: segnale di START;
- FPGA: rivelazione di START e STOP;
- confronto timestamp DRS-FPGA

Eventi selezionati: START DRS \leftrightarrow START+STOP FPGA

$1/\beta$ decadimenti



Confronto $1/\beta$ delle particelle arrestate/decadute



Trigger DRS	$1/\beta$	β
$1 \& 2 \& 3$	0.959 ± 0.002	1.042 ± 0.002
$1 \& 2 \& 3 \& \bar{4}$	1.002 ± 0.003	0.998 ± 0.003
decadimenti	1.16 ± 0.01	0.86 ± 0.01