

Cuoricino: decadimento $0\nu\beta\beta$

Corso di
Fisica Nucleare e Subnucleare II

4 giugno 2010

Studente
Claudia Pistone

Tutor
Dr. Fabio Bellini



sommario

- cos'è Cuoricino
- cosa sappiamo dei neutrini e cosa vogliamo scoprire
- cos'è il decadimento $\beta\beta$
- come studiare il decadimento $\beta\beta$
- cos'è un bolometro
- il rivelatore Cuoricino

introduzione

Cuoricino

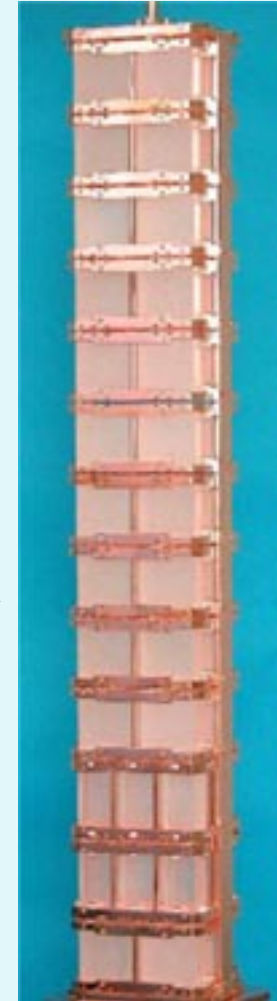
è l'esperimento pilota per un esperimento più grande, CUORE (Criogenic Underground Observatory for Rare Events)

si tiene nei Laboratori Nazionali del Gran Sasso (Italy)

è composto da una schiera di 62 bolometri di diossido di tellurio (TeO_2) con una massa di 40.7 Kg e mantenuto ad una temperatura di ~ 10 mK da un refrigeratore

tutto l'apparato è schermato per ridurre il fondo prodotto dalle contaminazioni esterne

L'esperimento Cuoricino è partito per cercare risposta alla domanda: i neutrini sono particelle di Majorana?



un pò di teoria

neutrini

leptoni

tre tipi \longrightarrow

NO carica di colore
elettricamente neutri

ν_e ν_μ ν_τ

\Rightarrow interazioni deboli

Come distinguere neutrino e antineutrino?

Se $m_\nu = 0 \Rightarrow$ distinzione tramite elicità:

$$H = \frac{\vec{\sigma} \times \vec{p}}{|\vec{p}|}$$

$$H(\nu) = -1$$

$$H(\bar{\nu}) = +1$$

Ma $m_\nu \neq 0 \Rightarrow$ elicità non utile

neutrini

Sperimentalmente si osserva:

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



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

$$\bar{\nu}_e + n \not\rightarrow p + e^{-}$$

Si introduce il numero leptonico:

$$L(\nu) = -1$$

$$L(\bar{\nu}) = +1$$



Nel MS neutrino ed antineutrino sono distinguibili per il numero leptonico

In realtà, potrebbe essere che il secondo processo sia poco probabile, ma non vietato. Questo implicherebbe la non conservazione del numero leptonico.

Dirac e Majorana

$$\nu \neq \bar{\nu}$$

$$\nu = \bar{\nu}$$



NO conservazione del numero leptonico:

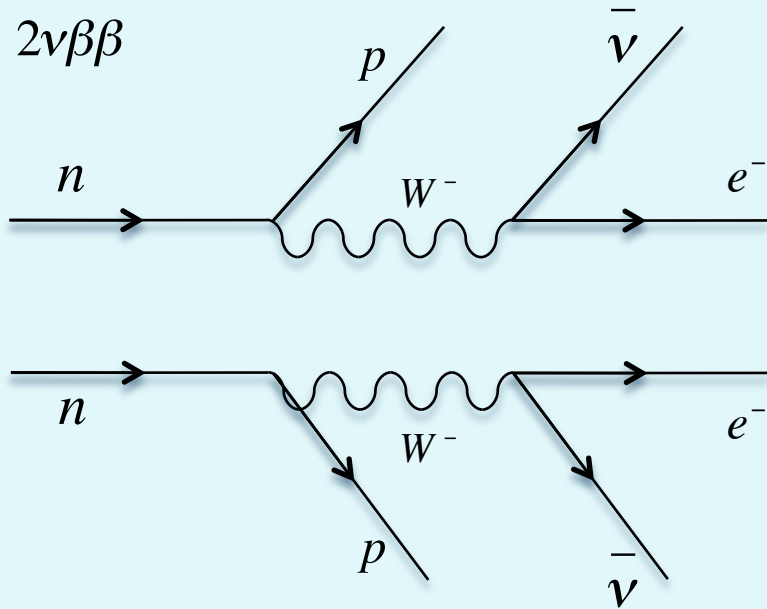
$$L(\nu) = L(\bar{\nu})$$

Bisogna ricercare processi in cui non c'è conservazione del numero leptonico:

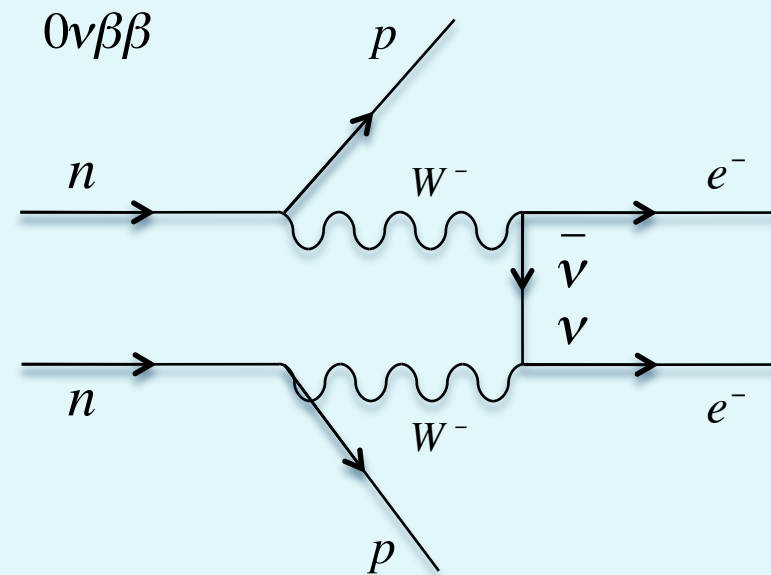
decadimenti $0\nu\beta\beta$ $(A,Z) \rightarrow (A,Z+2) + 2e^-$

decadimento doppio β

permesso dal MS



non permesso dal MS

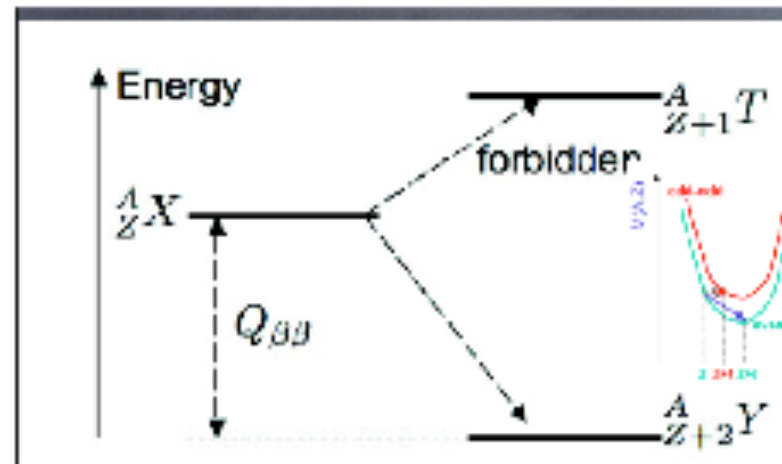
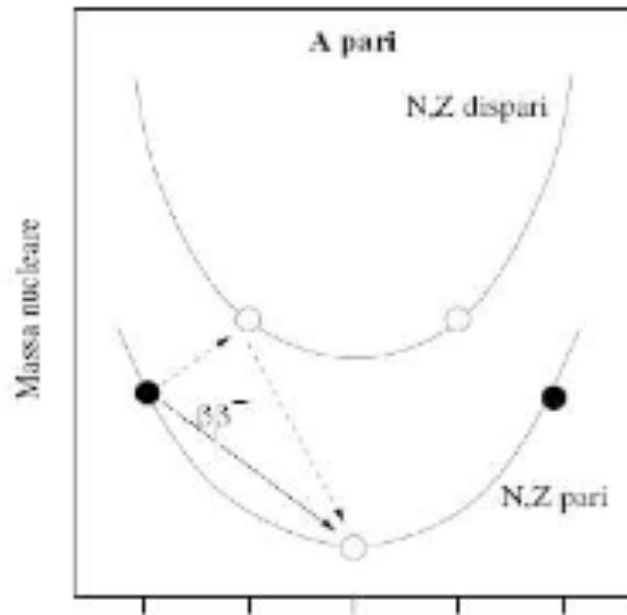


segnatura sperimentale

spettro continuo

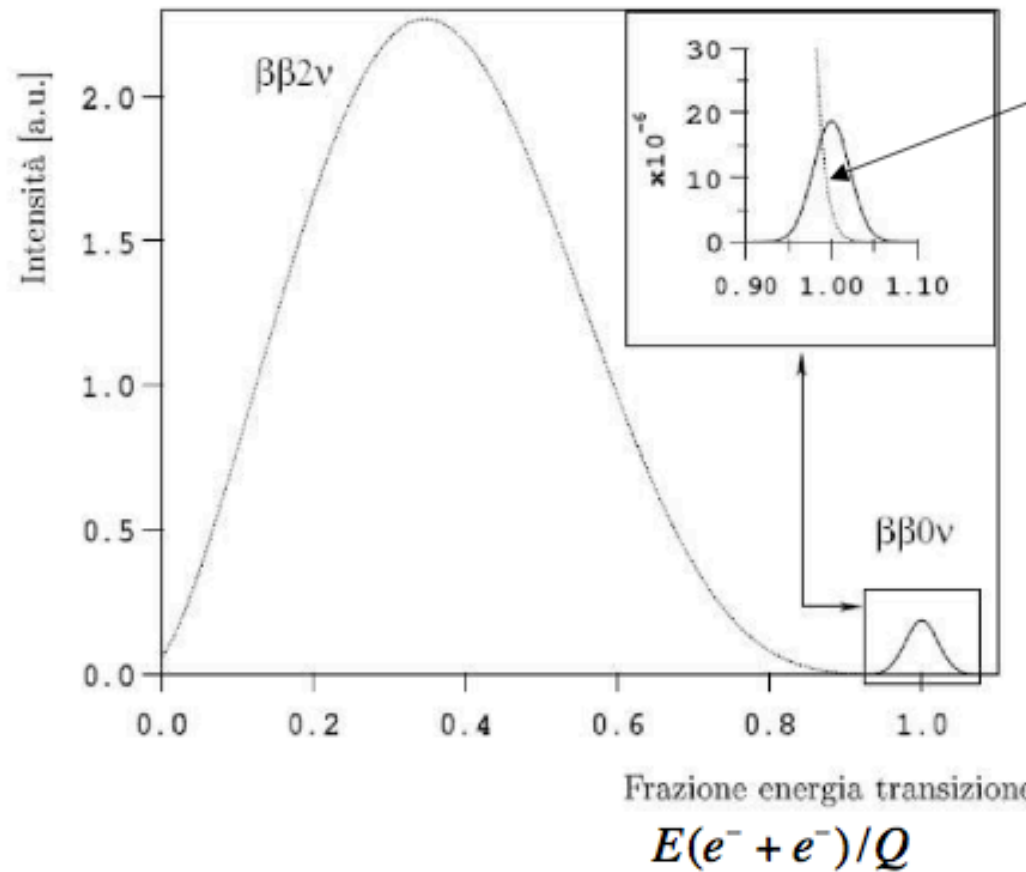
spettro costituito da una riga
monocromatica pari alla differenza di
massa tra i due nuclei

parabola delle masse



^{48}Ca , ^{76}Ge , ^{82}Se , ^{100}Mo , ^{116}Cd , ^{130}Te , ^{136}Xe , ^{150}Nd

spettro dei decadimenti



Fondo non eliminabile dovuto al $\beta\beta_{2\nu}$

$$\tau^{\beta\beta_{2\nu}} \approx 10^{20} \text{ y}$$

$$\tau^{\beta\beta_{0\nu}} \approx 10^{25} \text{ y}$$

$$\frac{\tau^{\beta\beta_{2\nu}}}{\tau^{\beta\beta_{0\nu}}} \approx 10^5$$

$$\frac{N^{\beta\beta_{2\nu}}}{N^{\beta\beta_{0\nu}}} \approx \frac{\Delta E}{Q^5}$$

Per cuoricino:
 $\Delta E = 5 \text{ KeV}$
 $Q = 2530 \text{ KeV}$

sensibilità

numero medio di conteggi del bkg intorno al Q -value

$$B = b \cdot M \cdot \Delta E \cdot t$$

massa del detector
 rate del bkg in conteggi/keV/kg/y
 risoluzione dell'energia
 live time

numero atteso di eventi $0\nu\beta\beta$

$$S = \frac{M \cdot N_A \cdot a}{W} \cdot \ln(2) \cdot \frac{t}{\tau^{0\nu}} \cdot \varepsilon$$

massa del detector
 massa molecolare
 abbondanza isotopica
 vita media di $0\nu\beta\beta$
 live time
 efficienza

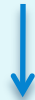
sensibilità

$$\frac{S}{\sqrt{B}} = \ln 2 \cdot \frac{N_A a \cdot \varepsilon}{W \cdot \tau^{0\nu}} \cdot \sqrt{\frac{M \cdot t}{b \cdot \Delta E}}$$

metodo bolometrico

In Cuoricino le misure sono effettuate tramite il metodo bolometrico:

la particella colpisce il rivelatore
e viene assorbita in parte o
completamente



il mezzo assorbitore si riscalda

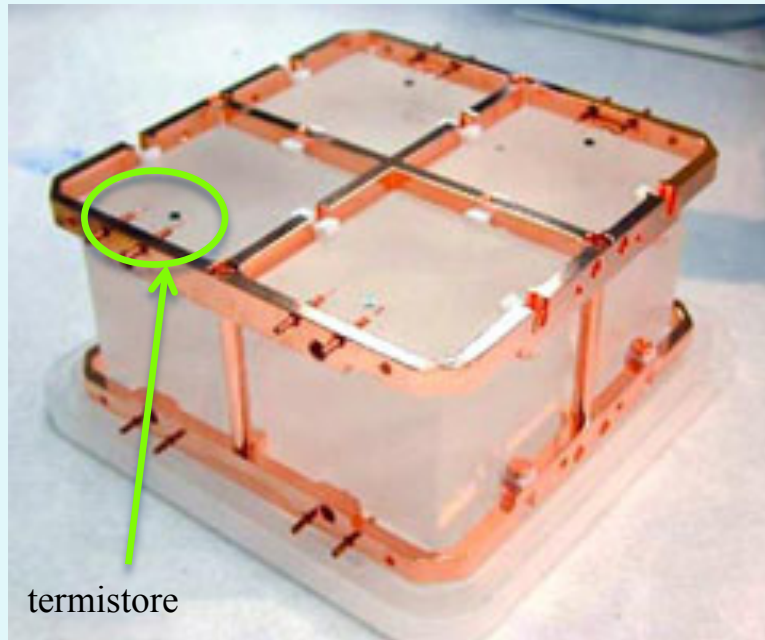


il sensore di temperatura converte
l'innalzamento di temperatura del
cristallo in un segnale elettrico

Questo processo è fattibile se:

- la variazione di temperatura è apprezzabile (assorbitore e ambiente devono quindi avere determinate caratteristiche);
- il termistore è in eccellente contatto termico con l'assorbitore. Inoltre, anche il termistore deve fornire un segnale di intensità adeguata.

bolometri



I bolometri sono rivelatori criogenici.

Un rivelatore termico è sensibile:

- alla ionizzazione, che corrisponde a ~30% dell'energia depositata nel mezzo assorbitore;
- ai fononi (modi di vibrazione degli atomi attorno alla loro posizione di equilibrio), 70%



sensibilità al 100%

Un segnale bolometrico è dunque un innalzamento di temperatura intercettato dal termistore.

$$E_{cr} = C(T) \cdot T$$

risoluzione

$$N = \frac{E}{\varepsilon}$$

numero di fononi creati dall'energia E
rilasciata dalla particella incidente

$\varepsilon = k_B T$ energia per creare un fonone

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{1}{\sqrt{N}} \quad \Rightarrow \quad \Delta E = \sqrt{\varepsilon E} \quad \text{le fluttuazioni sono proporzionali a } T$$

$$\Delta E_{cr} = \sqrt{\varepsilon E_{cr}} = \sqrt{k_B C(T) T^2} \quad \text{fluttuazioni intrinseche del cristallo}$$

Per misurare E si deve avere $\Delta E_{cr} \ll E$

A temperatura ambiente ($T \sim 300\text{K}$) si ha $\Delta E_{cr} \sim 10^{10} \text{ eV} !!!$

E è dell'ordine del MeV \Rightarrow non si può essere sensibili a temperatura ambiente

$$\Rightarrow \text{criogenia } (T \sim 5\text{-}10 \text{ mK}) \quad \begin{array}{l} \Delta E \sim 20 \text{ meV} \\ \Delta E_{cr} \sim 0.50 \text{ eV} \end{array}$$

rumore

Il contributo dominante del rumore viene dalle vibrazioni dell'apparato criogenico. Queste vibrazioni sono trasmesse ai cristalli e ai fili di lettura producendo due differenti tipi di rumore.

Le vibrazioni dei cristalli generano una dissipazione di energia che ha uno spettro simile a quello del segnale, e perciò costituisce la più pericolosa fonte di rumore (rumore termofonico).

Le vibrazioni dei fili di lettura inducono una variazione della capacità della linea di trasmissione, generando il cosiddetto rumore microfónico.

Altri contributi di rumore vengono dall'elettronica:

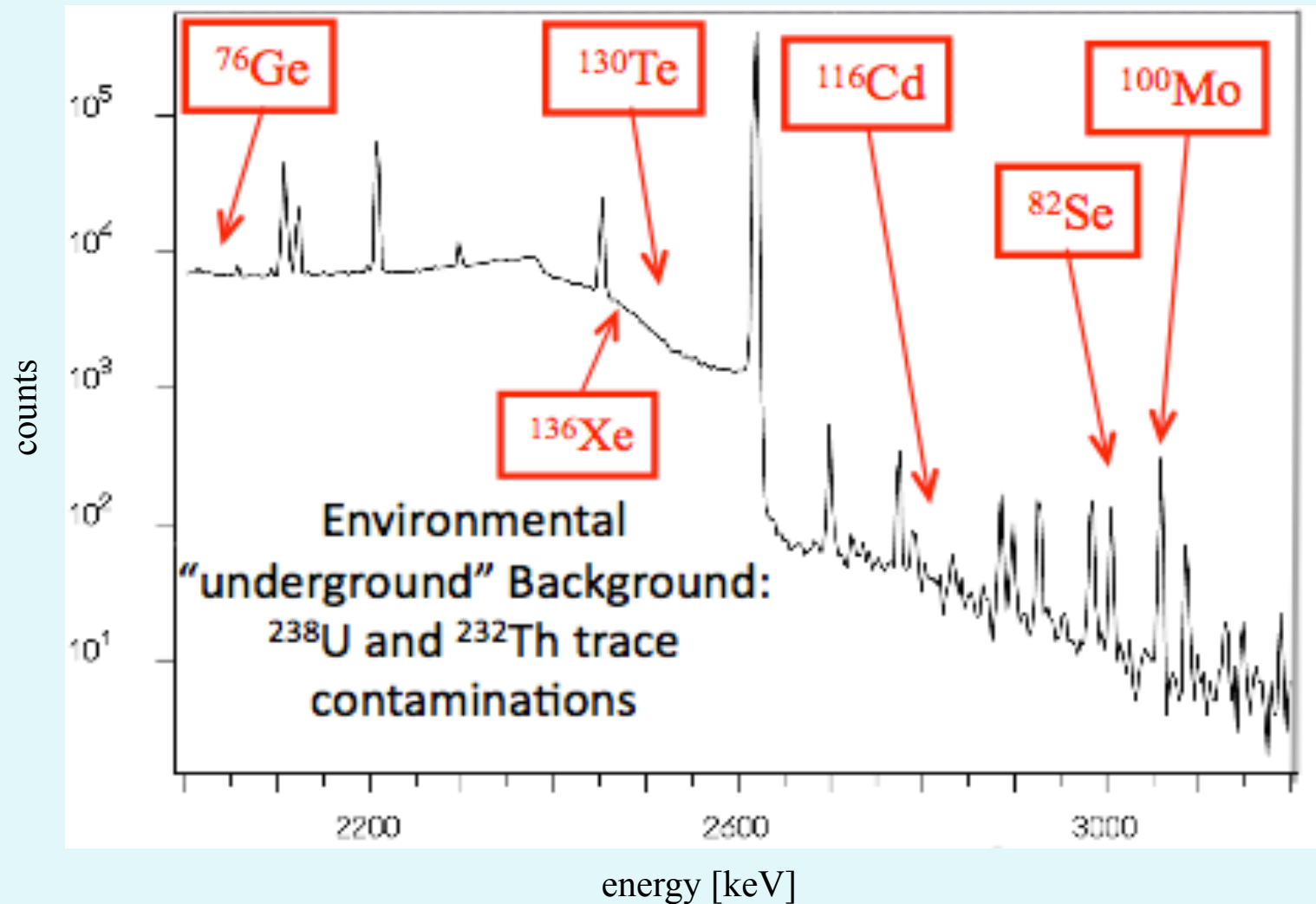
- rumore Johnson delle resistenze (200-300 eV);
- rumore dell'amplificazione (250 eV).

scelta del Tellurio

L'assorbitore dovrà essere tale da:

- contenere isotopi candidati al decadimento $0\nu\beta\beta$ (sorgente = rivelatore);
- avere una piccola capacità termica: $C(T) = 1994 N_{moli} \left(\frac{T}{\theta_D} \right)^3 \Rightarrow$ alta temperatura di Debye
- avere una grande abbondanza isotopica naturale ($a=0.34$);
- avere buona purezza intrinseca, in modo da minimizzare la probabilità di avere altri decadimenti al suo interno (minimizzazione delle contaminazioni interne);
- avere un Q -value molto alto (ampio spazio delle fasi), ma tale da non cadere in zone dello spettro di energia caratterizzate da altri decadimenti (radioattività ambientale).

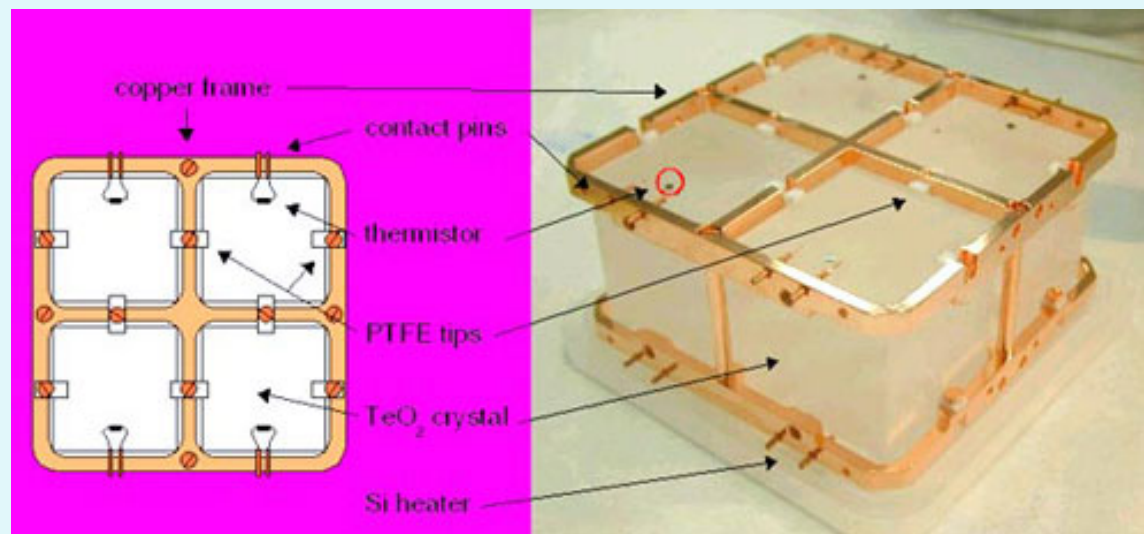
scelta del Tellurio



apparato sperimentale



~85 cm



fondo

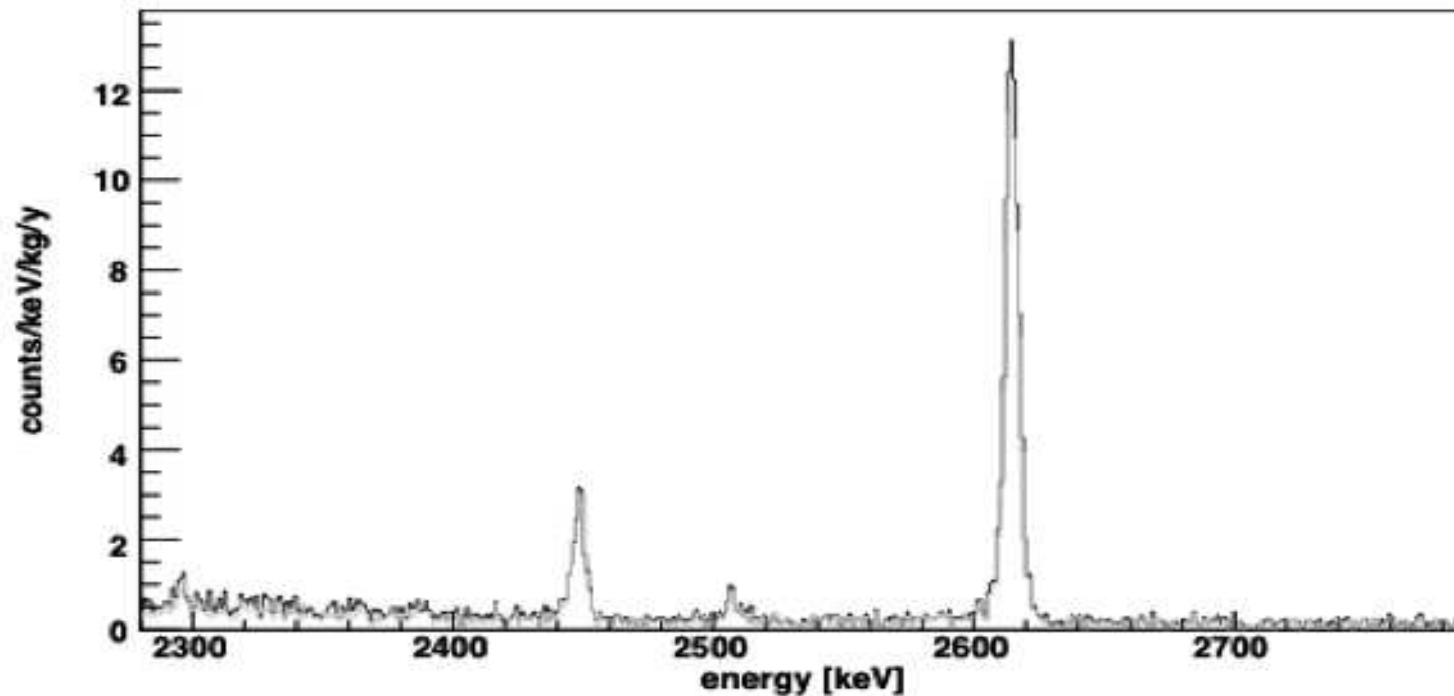
fondo radioattivo (fondo eliminabile):

- contaminazioni interne;
- contaminazioni esterne (α , n , μ , γ).

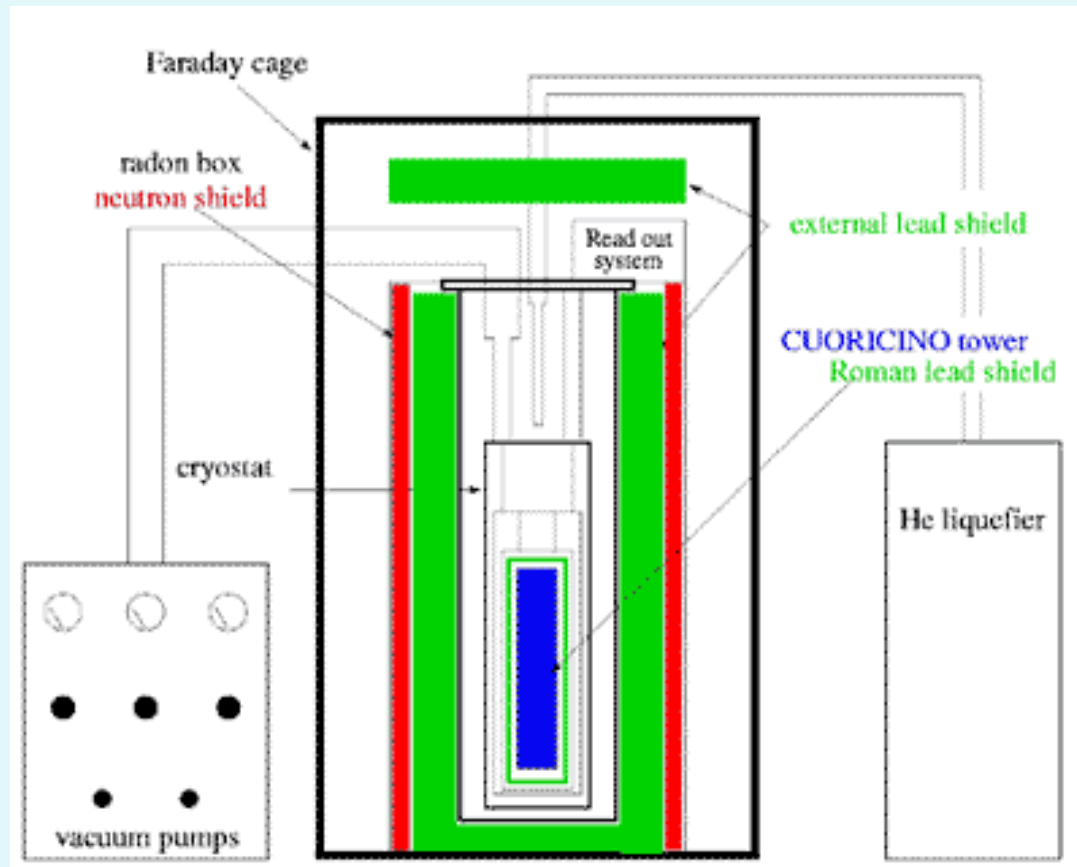
flusso μ $3 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

flusso n $10^{-6} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

La montagna del Gran Sasso fornisce uno schermo di circa 3500 m di acqua equivalente come scudo per i raggi cosmici.



Cuoricino



il rivelatore è dotato di:

- schermo in Pb romano (~1 cm);
- schermo per ridurre il flusso di neutroni;
- flusso di azoto per ridurre il Radon;
- gabbia di Faraday;
- sistema “dumping”.

Conclusione

Riassumendo:

- si è introdotta la teoria alla base dell'esperimento;
- si è analizzato il metodo bolometrico;
- si è discussa della scelta dei materiali e dell'apparato sperimentale.

Restano da discutere:

- l'elettronica di raccolta dati;
- il segnale;
- analisi dati.