

Modellizzazione della forma degli impulsi nei rivelatori termici

Simone QUITADAMO

Università degli Studi di Milano - Bicocca

Comunicazione per il 106° Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica
Sezione III: Astrofisica
atticon12257

14-18 Settembre 2020

Obiettivi

Principali obiettivi:

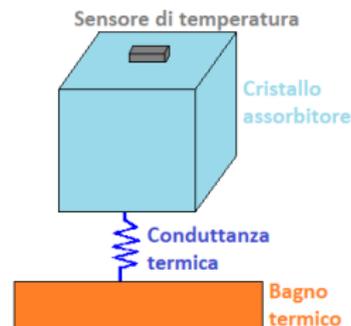
- ▷ studio dei processi di termalizzazione nei macrobolometri;
- ▷ sviluppo di un modello analitico per la loro funzione di risposta a un processo di deposizione di energia.

Lo sviluppo di un modello completo permetterà di migliorare le performance di esperimenti bolometrici come CUORE e CUPID, tra cui:

- ▷ miglioramento della risoluzione energetica;
- ▷ miglioramento della discriminazione segnale-fondo a bassa energia.

Modello semplificato di macrobolometro:

- ▷ cristallo assorbitore;
- ▷ sensore di temperatura;
- ▷ link a un bagno termico.



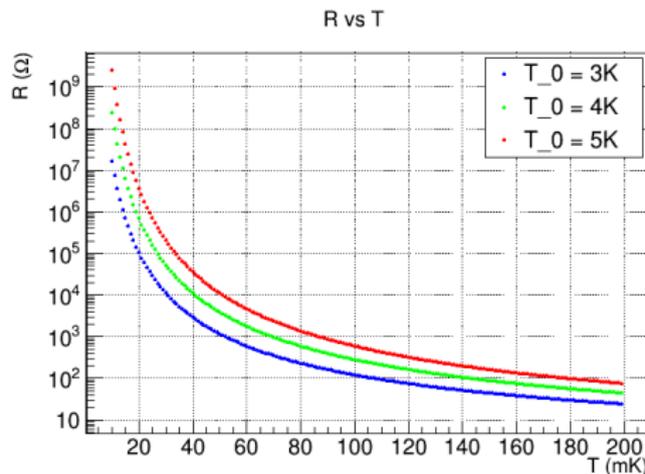
Ge-NTD

Ge-NTD: termistori a semiconduttore in germanio drogato tramite bombardamento neutronico e caratterizzati da un comportamento non-ohmico.

La resistenza degli NTD varia con la temperatura:

$$R(T) = R_0 \exp\left(\frac{T_0}{T}\right)^{\frac{1}{2}}$$

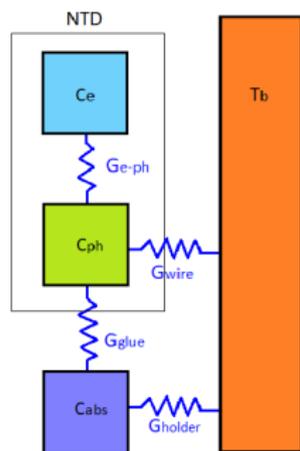
T_0 dipende dalla concentrazione di droganti: $(3 < T_0 < 5)K @10mK$.



Deposizione di energia nel cristallo assorbitore $\Rightarrow \Delta T$ in cristallo e NTD $\Rightarrow \Delta R$ di NTD \Rightarrow Formazione di un impulso elettrico.

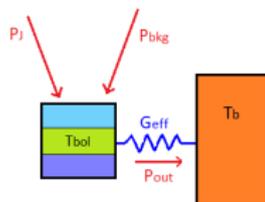
Modello termico statico

Un bolometro può essere trattato come un circuito termico
(*Hot Electron Model* \Rightarrow disaccoppiamento elettrone-fonone nel NTD):



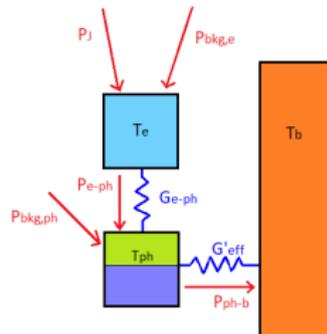
G_{e-ph}	$\propto T^{4.3}$
G_{glue}	$\propto T^3$
G_{wire}	$\propto T^{2.5}$

▷ Modello termico a singolo stadio:



$$\begin{cases} P_J + P_{bkg} = P_{out} \\ P_{out} = \int_{T_b}^{T_{bol}} G_{eff}(T) dT \end{cases}$$

▷ Modello termico a doppio stadio:

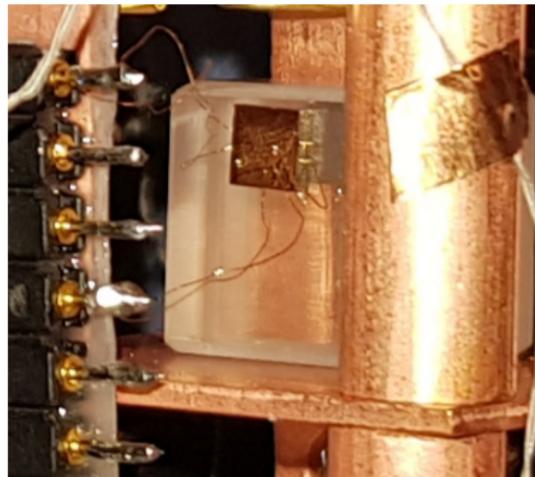
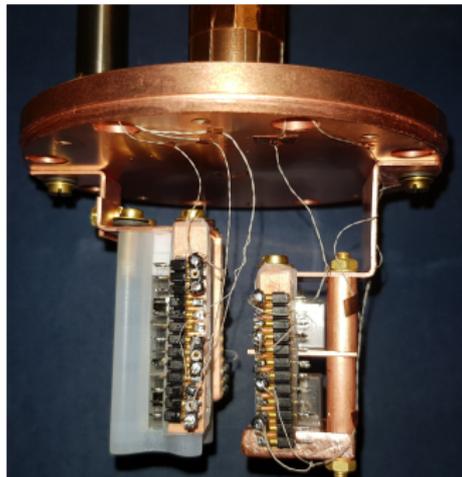


$$\begin{cases} P_J + P_{bkg,e} = P_{e-ph} \\ P_{e-ph} + P_{bkg,ph} = P_{ph-b} \\ P_{e-ph} = \int_{T_{ph}}^{T_e} G_{e-ph}(T) dT \\ P_{ph-b} = \int_{T_b}^{T_{ph}} G'_{eff}(T) dT \end{cases}$$

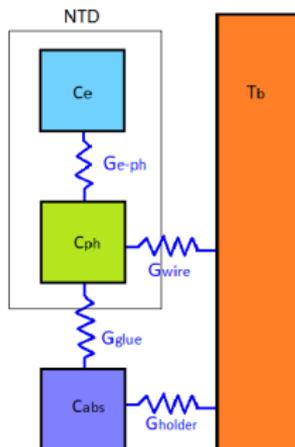
Acquisizione e analisi delle curve di carico

Studio del comportamento statico di bolometri (NTD + cristallo di TeO_2) in montaggi di diverso materiale (Cu, PMMA):

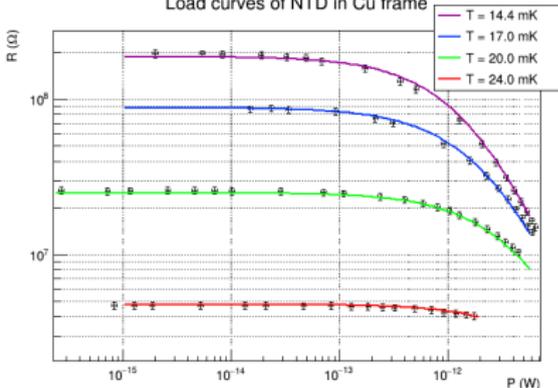
- ▷ acquisizione delle curve di carico degli NTD (curve R-P) a diverse T ;
- ▷ fit globale delle curve di carico nell'approssimazione di modello a singolo stadio e a doppio stadio;
- ▷ identificazione dei contributi alla conduttanza nei diversi montaggi.



Risultati dello studio delle curve di carico



Load curves of NTD in Cu frame



▷ Montaggio in PMMA:

- ▷ $G_{holder} \equiv G_{PMMA}$
- ▷ Conduttanza dominante:
 $G_{wire} \propto T^{2.4}$

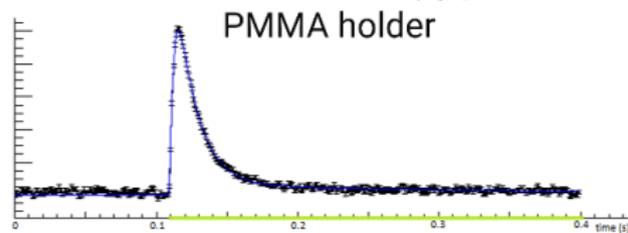
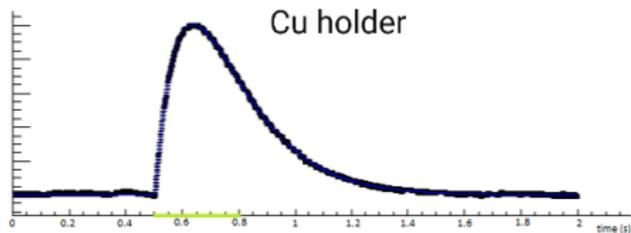
▷ Montaggio in Cu:

- ▷ $G_{holder} \equiv G_{glue}$
- ▷ Conduttanza dominante:
 $G_{e-ph} \propto T^4$
- ▷ Conduttanza verso il criostato:
 $G_{glue} \propto T^3$

Acquisizione e analisi di impulsi termici

Studio del comportamento dinamico di bolometri (NTD + cristallo di TeO_2) in montaggi di diverso materiale (Cu, PMMA):

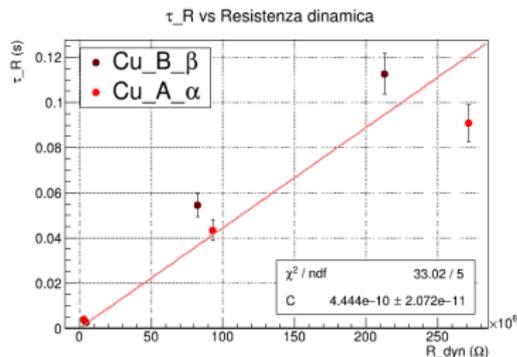
- ▷ acquisizione degli impulsi generati da interazione di fotoni con i cristalli assorbitori a diverse temperature;
- ▷ impulsi acquisiti nei due montaggi hanno forme diverse, a causa delle diverse conduttanze dominanti;



- ▷ sviluppo di un modello termico dinamico per descriverne analiticamente la forma.

Montaggio in Cu

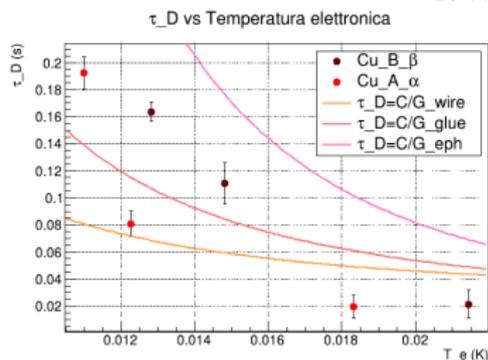
Impulsi nel montaggio in Cu descritti come somma di due funzioni esponenziali con una costante di tempo di salita e una di discesa.



▷ Relazione lineare di τ_R vs $R_{dyn} = \frac{dV}{dI}$

⇓

$$\tau_R = R_{dyn} C_p$$



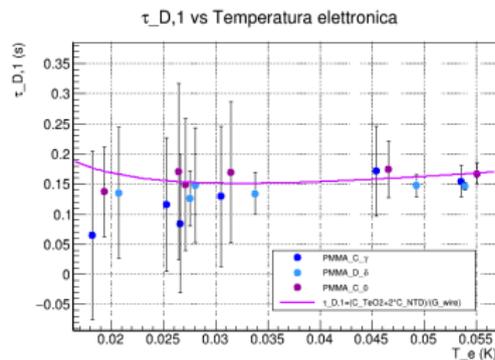
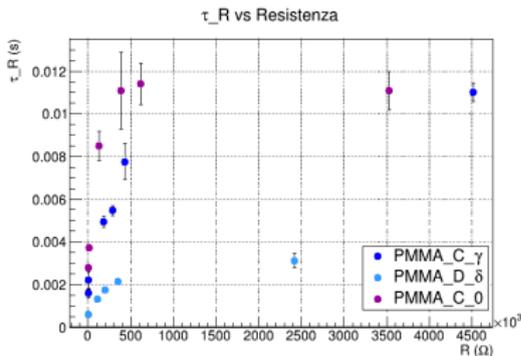
▷ Ipotesi: $\tau_D = \frac{C_{bol}}{G}$

Accordo migliore se si assume $G = G_{glue}$ (G_{glue} domina il link termico tra bolometro e criostato).

Grandi fluttuazioni su τ_D dovute alla bassa statistica di impulsi.

Montaggio in PMMA

Impulsi nel montaggio in PMMA descritti come somma di tre funzioni esponenziali con una costante di tempo di salita e due di discesa.



- ▷ τ_R non compatibile con un semplice RC . Presenza di processi intrinseci del bolometro (termalizzazione fononi, ...) con una costante di tempo caratteristica:

$$\tau_R = \sqrt{\tau_{RC}^2 + \tau_{intr}^2}$$

- ▷ Andamento di $\tau_{D,1}$ compatibile con:

$$\tau_{D,1} = \frac{C_{bol}}{G_{wire}}$$

(G_{wire} domina il link termico tra bolometro e criostato)

Conclusioni

- ▷ Combinando misure statiche e dinamiche si sono ottenute informazioni sui processi di termalizzazione e di formazione degli impulsi:
 - ▶ l'analisi delle curve di carico ha permesso di identificare i principali contributi alla conduttanza termica in montaggi diversi;
 - ▶ l'analisi degli impulsi ha permesso di costruire un modello analitico per la funzione di risposta di macrobolometri e di identificare i parametri fisici che determinano la forma degli impulsi.
- ▷ Questo approccio fornisce importanti informazioni per raggiungere una migliore comprensione del comportamento di macrobolometri letti da Ge-NTD.