

Proposta di Tesi di Dottorato in ambito INFN

Titolo:

Studio e caratterizzazione di nuovi dispositivi per la rivelazione di particelle basati sull'uso di magneti a singola molecola

Supervisor: Prof. Giuseppe Latino (giuseppe.latino@fi.infn.it);

Prof. Maria Fittipaldi (maria.fittipaldi@unifi.it)

Ambito di riferimento: Commissione Scientifica Nazionale V – Ricerca Tecnologica;
linea di ricerca: Fisica Interdisciplinare

Programma della Ricerca

L'attività di ricerca proposta, da svolgersi nel contesto dell'esperimento NAMASSTE, è finalizzata allo sviluppo di nuovi dispositivi di rivelazione basati sull'utilizzo di magneti a singola molecola (SMM). NAMASSTE, approvato e finanziato dall'INFN nell'ambito delle sue attività di Ricerca Tecnologica (Commissione Scientifica Nazionale V), vede coinvolte 3 Unità (Firenze, Milano e Pavia) e ha come obiettivo progettare, sintetizzare e caratterizzare nuovi SMM da utilizzare possibilmente come innovativi sensori quantistici ad alta sensibilità e come sistemi di archiviazione di memoria ad alta densità. Al fine di conseguire tali scopi questo esperimento è caratterizzato da un team interdisciplinare composto da fisici (sperimentali e teorici), esperti nel campo sia della struttura della materia che delle particelle elementari, e chimici (sintesi e caratterizzazione di SMM). I SMM sono materiali cristallini composti da molecole magnetiche identiche e magneticamente isolate (Fig. 1) che, a temperature molto basse e utilizzando un campo magnetico esterno, possono essere preparati in uno stato metastabile (Fig. 2) regolabile per essere altamente sensibile all'azione di una "perturbazione" esterna, eventualmente dovuta all'interazione con una particella incidente. Questo apre la possibilità di utilizzare i SMM come sensori quantistici, rappresentando un'alternativa possibile (e ancora in gran parte inesplorata) rispetto ad altri sistemi di spin attualmente studiati. Risulta quindi di estremo interesse un'attività di ricerca, come quella proposta, tesa a studiare e caratterizzare i SMM come rivelatori di particelle e che può potenzialmente portare allo sviluppo di nuove tecniche di rivelazione basate sui SMM, da applicarsi per la progettazione di esperimenti innovativi (ad esempio nel campo della ricerca della materia oscura o per la misura di precisione di proprietà fisiche rilevanti delle particelle note).

L'attività proposta prevede misure su cristalli di SMM con tecniche di magnetometria con SQUID e di Risonanza Paramagnetica Elettronica (EPR), da eseguire presso l'Unità di Firenze, e la potenziale partecipazione ad attività di misura con altre tecniche (NMR standard e con muoni (μ -SR), che verranno realizzate presso le altre Unità e presso il laboratorio PSI in Svizzera. Per perseguire gli obiettivi prefissati si studieranno i SMM sotto l'effetto di sorgenti radioattive di bassissima attività, indagando la validità di un approccio innovativo per la rivelazione dell'interazione particella-SMM, basato sullo studio della variazione indotta sui parametri di rilassamento rispetto a quelli misurati in assenza di "perturbazione" esterna. Questo approccio è atteso essere più sensibile rispetto alle attuali tecniche di rivelazione, basate su misure di magnetizzazione sull'intero sensore atte a rivelare un "effetto valanga" indotto dalla particella incidente. Si effettuerà quindi uno studio comparativo tra i due differenti metodi di rivelazione, cercando di riprodurre i risultati riportati di recente in letteratura mediante l'uso di un magnetometro SQUID. Si prevede inoltre di effettuare studi sugli effetti dovuti al rumore e ai danni da radiazione, ad esempio monitorando la stabilità dei parametri di rilassamento in assenza di perturbazione esterna, prima e dopo l'esposizione dei cristalli di SMM a delle sorgenti di radiazione ad alta attività. Ulteriori potenziali attività riguarderanno lo studio: (i) dell'impatto sui cristalli vicini dell'emissione elettromagnetica osservata durante una valanga magnetica (come riportato in letteratura), in linea di principio di interesse per il futuro aumento dei volumi sensibili

efficaci; (ii) dei possibili effetti di propagazione di valanghe magnetiche tra cristalli adiacenti; (iii) della potenziale dipendenza degli effetti indotti dalle particelle, dalla loro direzione di incidenza rispetto all'asse principale dei cristalli. L'analisi dei risultati sperimentali è attesa inoltre dare un contributo fondamentale allo sviluppo di una prima versione della modellizzazione dell'interazione particella-SMM, di cui non esiste al momento alcun lavoro presente in letteratura: uno studio teorico attualmente in una fase di prima implementazione, finalizzato allo sviluppo della simulazione del comportamento dei SMM sottoposti all'incidenza di una specifica radiazione, consentirà di caratterizzare al meglio i SMM come rivelatori di particelle; allo stesso tempo, il confronto tra le previsioni del modello teorico con i dati sperimentali sui fenomeni indotti da un dato tipo di radiazione incidente dovrebbe consentire un corretto "tuning" del modello di interazione SMM-particella, con l'obiettivo finale di disporre di un primo strumento di simulazione completamente validato.

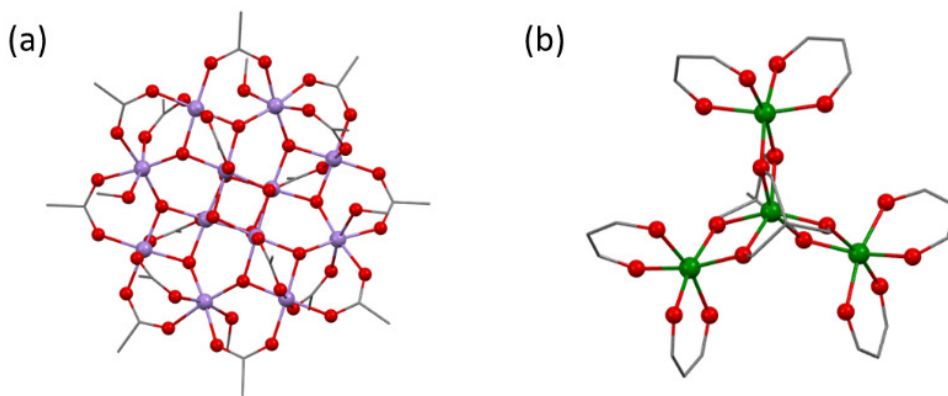


Fig 1. Due tipici SMM: Mn₁₂ (a) e Fe₈ (b).

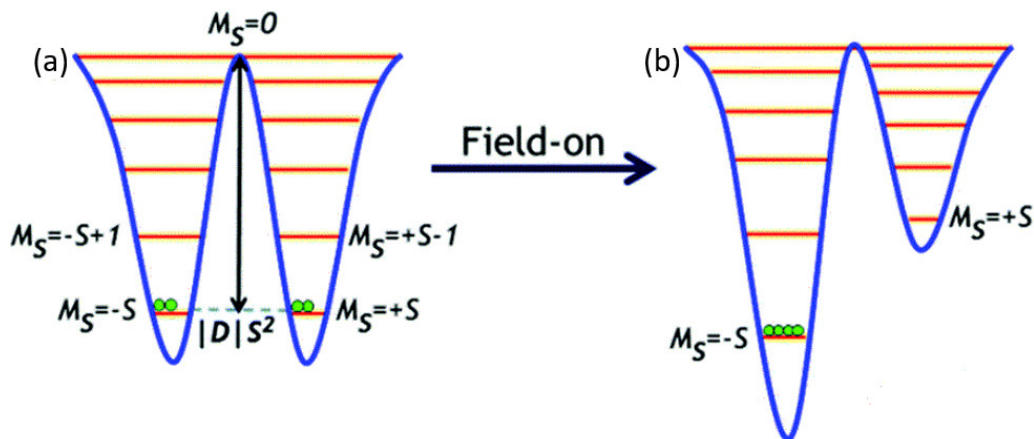


Fig 2. Tipico potenziale a doppia buca in un SMM in assenza (a) e in presenza (b) di un campo magnetico esterno.