

Exotic superfluids in dipolar Bose-Fermi mixtures

Progetto di Ricerca e Piano Attività

Il progetto di ricerca si propone di studiare la possibile realizzazione di un superfluido p-wave con miscele Bose-Fermi (BF) di atomi dipolari in due dimensioni. L'idea principale è quella di impiegare atomi o eccitazioni dipolari bosoniche (rotoni nei BEC dipolari) per mediare le interazioni tra i dimeri BF o tra gli atomi fermionici. In una prima fase, considereremo i dimeri BF debolmente legati, creati in una miscela BF debolmente accoppiata confinata in una geometria quasi 2D. Ci attendiamo che tali dimeri fermionici composti siano collisionalmente stabili e con un forte attrazione reciproca di tipo p-wave. Questa attrazione potrebbe portare alla formazione di un superfluido topologico chirale ($p_x + i p_y$) di dimeri.

Ciò che ancora manca è uno studio a molti corpi della competizione tra il gas di dimeri fermionici (da cui ha origine il superfluido p-wave) e la formazione di un condensato bosonico. La formazione dei dimeri BF compete infatti con la tendenza dei bosoni a condensarsi, che diventa dominante quando i dimeri iniziano a sovrapporsi per aumentare la densità. Ci proponiamo quindi di affrontare tale studio, utilizzando metodi diagrammatici a molti corpi, eventualmente assistiti da simulazioni Quantum Monte Carlo. Prevediamo che le interazioni dipolari giochino un ruolo importante nella stabilizzazione della miscela contro il collasso in presenza di forti attrazioni BF.

In una seconda fase, esploreremo anche un secondo meccanismo per realizzare un superfluido p-wave basato sullo scambio di rotoni virtuali tra i fermioni della stessa miscela.

In questo caso, si lavora in una situazione quasi 2D in cui la miscela ha una larghezza finita (anche se breve) nella direzione perpendicolare al piano 2D. In tale situazione, il condensato bosonico quasi-2D può sviluppare un minimo rotonico. Per interazione bosone-fermione debole, la presenza di un tale minimo rotonico aumenta l'attrazione effettiva tra i fermioni indotta dallo scambio di eccitazioni rotoniche virtuali. In particolare, l'interazione indotta aumenta fortemente quando l'energia del minimo del rotone si avvicina allo zero. Questa energia, a sua volta, può essere controllata con una risonanza di Feshbach tra bosoni.

Calcoleremo la configurazione ideale per produrre il superfluido p-wave al variare dell'energia del rotone, dell'accoppiamento bosone-fermione e delle densità delle particelle in presenza dell'interazione dipolare diretta tra i fermioni. Una possibilità estremamente affascinante che infine esploreremo sarà la coesistenza di un tale superfluido fermionico p-wave con un supersolido bosonico ottenuto chiudendo l'energy gap rotonico.

Principali risultati attesi

- Diagramma di fase teorico per la competizione tra condensazione bosonica e superfluido p-wave di dimeri in miscele Bose-Fermi dipolari 2D, condizioni per la stabilità della miscela e studio delle proprietà universali del condensato.
- Caratterizzazione teorica delle interazioni p-wave tra dimeri e calcolo del gap p-wave.
- Diagramma di fase teorico e calcolo della gap superfluida p-wave indotta dallo scambio di rotoni tra atomi fermionici in miscele BF dipolari.