

**Relazione scientifica del progetto**  
**“Trasporto coerente di eccitoni in sistemi a semiconduttore nano e micrometrici”**  
**finanziato nell’ambito del programma CNR - Short Term Mobility 2008**

**Abstract**

Nel periodo 2-22 novembre 2008, presso University of California San Diego (UCSD), Department of Physics, in stretta collaborazione con il Prof. L. J. Sham, ho portato avanti un’attività di ricerca di tipo teorico connessa all’ideazione e progettazione di un possibile esperimento che permetta l’inequivoca osservazione degli effetti quantistici legati alla condensazione di Bose-Einstein di eccitoni in eterostrutture a semiconduttore. Tale prova consiste nella realizzazione di una giunzione Josephson fra due trappole elettrostatiche per eccitoni “indiretti” realizzate in doppie *quantum well*. Nel lavoro [1] prediciamo i possibili osservabili fisici di questo fenomeno, connessi a esperimenti di interferometria ottica. Un aspetto qualificante di questo progetto è stata l’interazione con il gruppo sperimentale di L. Butov, attivo a UCSD e leader mondiale nel campo della fisica degli eccitoni a bassa temperatura [2], che ha evidenziato la rilevanza sperimentale della nostra proposta teorica.

**Stato dell’arte**

La possibilità che gli eccitoni possano formare un condensato di Bose-Einstein e manifestare superfluidità è stata ampiamente dibattuta fin dagli anni sessanta [3,4]. Un importante contributo sperimentale in questo senso è connesso all’eccitazione ottica di eccitoni indiretti in doppie quantum well a semiconduttore [2,5]. Grazie al lungo tempo di vita media e all’efficiente meccanismo di termalizzazione, gli eccitoni possono infatti occupare in modo macroscopico un singolo stato quantico, a temperature sufficientemente basse e densità sufficientemente alte [4]. Sistemi molto promettenti sono le trappole elettrostatiche di eccitoni in quantum well, ottenute tramite la modulazione laterale del campo elettrico parallelo alla direzione di crescita [5]. Questi dispositivi rilassano infatti le condizioni necessarie alla condensazione e consentono grande flessibilità nella progettazione di varie geometrie sperimentali. Recentemente, inoltre, abbiamo esplorato teoricamente il meccanismo microscopico del tunnelling della supercorrente eccitonica [6]. Questi progressi aprono la strada alla progettazione di esperimenti di tunnelling per il trasporto di eccitoni attraverso trappole micro- e nanometriche.

**Descrizione dell’attività di ricerca svolta**

Abbiamo investigato teoricamente un sistema modello composto da due trappole elettrostatiche per eccitoni separate da una barriera di potenziale che gli eccitoni possano attraversare in virtù dell’effetto *tunnel*. Nel caso in cui gli eccitoni formino due condensati di Bose-Einstein, è possibile realizzare trasporto eccitonico coerente e macroscopico fra le trappole. Il formalismo utilizzato si basa sull’equazione di Gross-Pitaevskii [7] e sulle sue soluzioni approssimate, a partire dall’approssimazione di Thomas-Fermi. Richiedendo che le equazioni rilevanti siano *gauge*-invarianti, si dimostra che il gradiente dell’energia di dipolo elettrico per gli eccitoni, controllabile attraverso un campo elettrico statico perpendicolare alla direzione di tunnelling, è in grado di guidare il

flusso coerente di eccitoni fra le trappole. Prediciamo inoltre diversi regimi dinamici, a seconda delle condizioni iniziali del sistema, alcuni dei quali risultano essere particolarmente robusti contro le fluttuazioni quantistiche e termiche. Sugeriamo infine un'esperimento di interferometria Mach-Zehnder risolto in tempo, calcolando come la visibilità delle frange dipenda dal prodotto critico fra energia di tunnelling intra-buca e compressibilità della singola trappola eccitonica.

### Referenze

- [1] M. Rontani e L. J. Sham, in preparazione.
- [2] Si veda ad esempio L. V. Butov *et al.*, *Nature* **417**, 47 (2002); A. A. High *et al.*, *Science* **321**, 229 (2008).
- [3] A. Griffin *et al.*, *Bose-Einstein condensation* (CUP, Cambridge, 1995).
- [4] L. Butov, *J. Phys.: Condens. Matter* **16**, R1577 (2004).
- [5] S. Yang *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **97**, 187402 (2006).
- [5] A. T. Hammack *et al.*, *J. Appl. Phys.* **99**, 066104 (2006).
- [6] M. Rontani and L. J. Sham, *Phys. Rev. Lett.* **94**, 186404 (2005).
- [7] L. Pitaevskii and S. Stringari, *Bose-Einstein condensation* (Oxford, New York, 2003).

Modena, 25 novembre 2008

Visto: Il proponente  
(Prof. Elisa Molinari)

Il fruitore  
Dott. Massimo Rontani  
CNR-INFN Research Center S3  
Via Campi 213/A 41100 Modena