

INTERFEROMETRIA DI NEUTRONI E
FONDAMENTI DI MECCANICA QUANTISTICA

Negli ultimi anni sono state messe a punto diverse tecniche finalizzate alla realizzazione di esperimenti statistici con una singola particella per volta e la raffinatezza dei risultati ottenibili ha ravvivato l'interesse per le questioni di fondamento in meccanica quantistica.

In questo lavoro di tesi si studiano, dal punto di vista teorico, una serie di esperimenti di interferometria, condotti dal gruppo del prof. H. Rauch di Vienna, relativi al comportamento di neutroni che attraversano uno per volta un interferometro costituito da un cristallo monolitico di silicio. Un aspetto qualitativo di particolare rilievo è l'alto grado di coerenza nell'interazione tra neutrone e cristallo ed i risultati sperimentali ottenuti quando in uno dei due rami è presente un materiale che induce una variazione di fase sono ben descritti introducendo una funzione d'onda e un opportuno potenziale macroscopico. Le misure effettuate in presenza di un assorbitore posto in uno dei due bracci dell'interferometro manifestano invece una leggera discrepanza tra dati sperimentali e previsioni teoriche. Alcuni fisici teorici (M. Namiki e S. Pascazio) hanno letto in questo una carenza della formulazione tradizionale della meccanica quantistica e ne hanno proposto una generalizzazione che prevede alcune modifiche ai postulati fondamentali usualmente accettati. L'applicazione di questa teoria agli esperimenti di interesse, a nostro giudizio piuttosto artificiosa, è brevemente ricordata nel lavoro di tesi.

Uno degli scopi di questa tesi è dare un fondamento più chiaro alla distinzione tra l'interazione del neutrone con la struttura fortemente ordinata e coerente del cristallo e lo scattering incoerente dovuto all'interazione con un altro materiale. Nella trattazione usuale dell'ottica dei neutroni infatti non si approfondisce molto la differenza tra scattering coerente ed incoerente, concentrando tutta l'attenzione sul primo dei due fenomeni fisici. La presenza di questo scattering incoerente richiede il passaggio dal formalismo della funzione d'onda a quello dell'operatore statistico, poiché solo così è possibile introdurre in modo soddisfacente la distinzione fra i due contributi allo scattering. Sfruttando la moderna formulazione operativa della meccanica quantistica si studia la dinamica ridotta del sistema neutrone-materia e si ottiene una master-equation per l'evoluzione dinamica dell'operatore statistico associato al solo neutrone. Il generatore dell'evoluzione temporale può essere scomposto in una parte hamiltoniana, strettamente collegata al termine di potenziale usualmente introdotto nell'ottica dei neutroni, e in un contributo incoerente tipico della descrizione dell'operatore statistico, che non trova corrispettivo nel formalismo

della funzione d'onda.

È possibile dare una rilettura fisicamente molto intuitiva della master-equation introducendo, tramite il formalismo della trasformata di Wigner, una funzione di distribuzione di particella singola e riscrivendo la master-equation in forma di equazione alla Boltzmann. L'aspetto nuovo che emerge da questo passaggio è il ruolo del termine non coerente, assente negli usuali studi di interferometria di neutroni, che può ora essere collegato al contributo di guadagno per collisione dell'equazione di Boltzmann. Ci si può aspettare che sia proprio la presenza di questo contributo non coerente, tanto più rilevante tanto maggiore è l'assorbimento, a dare ragione delle discrepanze osservate a livello sperimentale.

Questi risultati sembrano quindi indicare che la discrepanza fra dati sperimentali e previsioni teoriche rilevata nel caso di forte assorbimento non sia imputabile ad una carenza della meccanica quantistica: una trattazione più articolata dell'interazione con l'assorbitore, descrivibile ad esempio in termini di scattering, potrebbe rendere ragione della perdita di coerenza che causa una riduzione nella visibilità della figura di interferenza; per verificare questa ipotesi è necessario descrivere in termini molto dettagliati la situazione sperimentale considerata. Ci si aspetta che questa analisi, in cui si sfrutta la moderna formulazione operativa della meccanica quantistica e si presta una particolare attenzione all'individuazione delle condizioni sotto le quali i contributi incoerenti all'interazione non possono essere trascurati, possa essere adattata ad altri esperimenti statistici in cui si osserva un microsistema per volta.