Abstract

A new numerical method is introduced that enables a reliable study of disorder-induced localization of interacting particles. It is based on a quantum mechanical time evolution calculation combined with a finite size scaling analysis. The time evolution of up to four particles in one dimension is studied and localization lengths are defined via the long-time saturation values of the mean radius, the inverse participation ratio and the center of mass extension. A systematic study of finite size effects using the finite size scaling method is performed in order to extract the localization lengths in the limit of an infinite system size. For a single particle, the well-known scaling of the localization length λ_1 with disorder strength W is observed, $\lambda_1 \propto W^{-2}$. For two particles, an interaction-induced delocalization is found, confirming previous results obtained by numerically calculating matrix elements of the two-particle Green's function: in the limit of small disorder, the localization length increases with decreasing disorder as $\lambda_2 \propto W^{-4}$ and can be much larger than λ_1. For three and four particles, delocalization is even stronger. Based on analytical arguments, an upper bound for the n-particle localization length λ_n is derived and shown to be in agreement with the numerical data, $\lambda_n \propto \lambda_1^{2^{n-1}}$. Although the localization length increases superexponentially with particle number and can become arbitrarily large for small disorder, it does not diverge for finite λ_1 and n. Hence, no *extended* states exist in one dimension, at least for spinless fermions.

Zusammenfassung

Ein neue numerische Methode zur Untersuchung der Lokalisierungseigenschaften wechselwirkender Teilchen wird eingeführt. Dabei wird die quantenmechanische Zeitentwicklung von Wellenpaketen mit bis zu vier Teilchen berechnet. Die Sättigungswerte des mittleren Radius und der Ausdehnung in Schwerpunktsrichtung für große Zeiten definieren die Lokalisierungslängen. Deren Abhängigkeit von der Systemgröße wird mit einem Skalierungsverfahren untersucht, das die Bestimmung der Lokalisierungslänge λ_1 im Grenzfall eines unendlich ausgedehnten Systems erlaubt. Für ein einzelnes Teilchen wird die bekannte Skalierung der Lokalisierungslänge mit der Unorndung W gefunden, $\lambda_1 \propto W^{-2}$. Für zwei Teilchen wird eine Vergrößerung der Lokalisierungslänge beim Einschalten der Wechselwirkung beobachtet. Dies bestätigt frühere Ergebnisse, die durch Berechnung von Matrixelementen der Zweiteilchen Greensfunktion gewonnen wurden: Die Lokalisierungslänge skaliert für kleine Unordnung mit $\lambda_2 \propto W^{-4}$ und kann damit wesentlich größer werden als λ_1. Eine wesentlich stärkere Delokalisierung ergibt sich für drei und vier Teilchen. Basierend auf analytischen Überlegungen wird eine obere Grenze der Lokalisierungslänge für n Teilchen hergeleitet und ihre Übereinstimmung mit den numerischenDaten wird gezeigt, $\lambda_n \propto \lambda_1^{2^{n-1}}$. Obwohl die Lokalisierungslänge stärker als exponentiell mit der Teilchenzahl anwächst und im Grenzfall kleiner Unordnung beliebig groß werden kann, divergiert sie nicht. Dementsprechend existieren keine *ausgedehnten* Zustände in einer Dimension, zumindest nicht für die hier behandelten spinlosen Fermionen.