

Spectral, Information-Theoretic and Thermodynamic Properties of a Fractal Position-Dependent Mass Schrödinger System

Por Q. R. D. S. Moreira, L. F. Ximenes, A. R. P. Moreira, Daniel M. Neves, João Batista Rosa Silva e José Cláudio do Nascimento

Fonte: OpenAlex · UFC · [Publicação original](#)

INOVAÇÃO	APLICABILIDADE	POTENCIAL ECONÔMICO	MATURIDADE
9/10	3/10	7/10	Baixa

Estudo teórico avançado da UFC que investiga sistemas quânticos com massa dependente da posição em ambientes fractais, conectando propriedades espectrais, teoria da informação e termodinâmica. O trabalho oferece um modelo analítico exato para simular o comportamento de elétrons em estruturas semicondutoras complexas.

NÚCLEO DA ANÁLISE

Ideia de startup ou produto

Desenvolvimento de uma plataforma SaaS de simulação 'QuantumFractal' para engenheiros de materiais, permitindo prever propriedades termodinâmicas e de informação de nanodispositivos baseados em geometrias complexas.

Aplicações práticas

Projeto de nanoestruturas semicondutoras e pontos quânticos com maior controle sobre estados de energia. Simulação computacional para o desenvolvimento de novos materiais para eletrônica de alta performance e computação quântica.

Potencial de mercado

Alto potencial no setor de tecnologias quânticas e semicondutores avançados, especialmente para empresas que buscam otimização de materiais e arquiteturas de qubits através de modelagem preditiva.

FUNDAMENTO CIENTÍFICO

Problema abordado

A necessidade de modelar o comportamento quântico e termodinâmico de partículas em ambientes semicondutores não ideais (fractais), onde a geometria complexa afeta a localização dos estados quânticos e a estabilidade energética.

Metodologia

Utilização do operador de momento fractal e Hamiltoniano de Von Roos com ordenação BenDaniel–Duke para obter soluções analíticas exatas. Análise de entropia de Shannon, informação de Fisher e derivação da função de partição para propriedades termodinâmicas.

Principais descobertas

Descoberta de que o parâmetro fractal e a escala da rede controlam diretamente a transição de localização-deslocalização dos estados quânticos. Derivação bem-sucedida de propriedades termodinâmicas exatas (energia livre, calor específico) para o sistema.

LEITURA PARA GESTÃO PÚBLICA

Fortalecimento do ecossistema de tecnologia quântica no Ceará, atraindo investimentos para laboratórios de R&D em nanotecnologia e formando mão de obra especializada em física computacional.

PARCERIA UNIVERSIDADE × EMPRESA

Colaboração com multinacionais de semicondutores (ex: IBM, Intel) ou startups de hardware quântico para validação experimental dos modelos teóricos em chips reais.

OPORTUNIDADES DERIVADAS

3 direções estratégicas identificadas

PARCERIA · IMPACTO ALTO · INDÚSTRIA 4.0

Pesquisa Aplicada em Semicondutores

Parceria UFC-Indústria para aplicar os modelos fractais no design de novos wafers de silício ou materiais 2D.

STARTUP · IMPACTO MÉDIO · CIÊNCIA DE DADOS

Simulador de Materiais Quânticos

Spin-off focada em software de simulação preditiva baseada nos algoritmos analíticos desenvolvidos no paper.

POLÍTICA PÚBLICA · IMPACTO MÉDIO · GOVTECH

Incentivo à Computação Quântica

Programas de fomento governamental para transformar Ceará em polo de pesquisa em física quântica aplicada.

ABSTRACT ORIGINAL

In this work, we investigate the spectral, information-theoretic, and thermodynamic properties of a fractal Schrödinger system with position-dependent mass subject to an effective semiconductor-like confinement. We employ a fractal momentum operator and a Von Roos Hamiltonian with BenDaniel–Duke ordering to obtain exact analytical solutions for the energy spectrum and wave functions. The interplay between the fractal parameter α , the effective lattice scale l_0 , and the harmonic confinement strength ω is explored. We perform a comprehensive analysis of the Shannon entropy, Fisher information, and Fisher–Shannon complexity in both coordinate and momentum spaces. Our results demonstrate that these parameters directly control the localization–delocalization transition and the informational architecture of the quantum states, while satisfying the entropic and Fisher uncertainty relations. Furthermore, we derive the exact partition function and the corresponding thermodynamic properties (free energy, internal energy, entropy, and specific heat) of the system. The analytical framework presented offers valuable insights into the spectral, information-theoretic, and thermodynamic behavior of quantum systems in fractal semiconductor-like environments.

MATÉRIA PARA LEIGOS

Para leigos: Novos insights sobre sistemas quânticos em materiais fractais

O cenário atual

O avanço da tecnologia depende da compreensão profunda de sistemas quânticos, especialmente aqueles que mimetizam o comportamento de semicondutores. Pesquisadores têm se dedicado a estudar ambientes complexos onde as propriedades físicas variam conforme a posição, oferecendo um cenário rico para a inovação em materiais e dispositivos eletrônicos.

O que os pesquisadores fizeram

Os autores investigaram as propriedades espectrais, informacionais e termodinâmicas de um sistema quântico descrito pela equação de Schrödinger com massa dependente da posição e características fractais. O trabalho aplicou um confinamento semelhante ao de semicondutores. Para resolver o problema, a equipe utilizou um operador de momento fractal e um Hamiltoniano de Von Roos com ordenação BenDaniel–Duke, obtendo soluções exatas para a energia e as funções de onda.

Como funciona na prática

O estudo focou na interação entre três parâmetros principais: o parâmetro fractal (α), a escala efetiva da rede cristalina (l_0) e a força do confinamento harmônico (ω). Os pesquisadores realizaram uma análise completa usando métricas de informação, como a entropia de Shannon e a informação de Fisher. Eles examinaram como esses fatores influenciam a arquitetura da informação e determinam se as partículas estão mais localizadas ou espalhadas no espaço.

Resultados e evidência

Os resultados mostraram que os parâmetros estudados controlam diretamente a transição entre localização e deslocalização dos estados quânticos. O sistema demonstrou satisfazer as relações de incerteza entrópica e de Fisher. Além disso, o trabalho derivou a função de partição exata e as correspondentes propriedades termodinâmicas, incluindo energia livre, energia interna, entropia e calor específico.

Implicações práticas

A estrutura analítica apresentada oferece entendimento valioso sobre o comportamento de sistemas quânticos em ambientes fractais que funcionam como semicondutores. Isso pode fornecer bases teóricas para o desenvolvimento de novas tecnologias que utilizem materiais com estruturas complexas e escalonáveis.

Limitações e próximos passos

O paper não detalha limitações específicas da pesquisa ou quais seriam os próximos passos experimentais a serem seguidos. O trabalho concentra-se em apresentar uma estrutura teórica e analítica para o sistema estudado.

QUEM SÃO OS PESQUISADORES

Quem são os pesquisadores

A pesquisa foi conduzida por um grupo de autores da Universidade Federal do Ceará (UFC). Os participantes do estudo são Q. R. D. S. Moreira, L. F. Ximenes, A. R. P. Moreira, Daniel M. Neves, João Batista Rosa Silva e José Cláudio do Nascimento. O paper não detalha as formações específicas, trajetórias profissionais anteriores ou papéis individuais distintos de cada autor dentro da equipe.

PALAVRAS-CHAVE

Fractal · Hamiltonian (control theory) · Partition function (quantum field theory) · Quantum · Scaling · Internal energy · Thermodynamic system · Operator (biology) · Quantum system