

QUANTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE ESTADOS QUÂNTICOS EMARANHADOS: APLICAÇÃO A SISTEMAS DE SPINS

Nils Alexandre Lima Bergsten¹ e Fredson Braz Matos dos Santos²

1. Bolsista FAPESB, Graduando em Engenharia da Computação, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: nilsalexberg@gmail.com

2. Orientador, Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: fr_braz@yahoo.com.br

PALAVRAS-CHAVE: Estados quânticos, emaranhamento, spins.

INTRODUÇÃO

Desde seu surgimento, a mecânica quântica tem recebido diversas interpretações diferentes, muitas vezes controversas, modificando drasticamente a compreensão da realidade física. Seus princípios contrastam com os conceitos da física clássica, que descreviam a realidade física de forma determinística, matematicamente previsível; quando se trata do mundo quântico, só se pode falar em probabilidades.

O fenômeno do emaranhamento é uma das mais marcantes características de sistemas quânticos compostos que os distinguem de sistemas clássicos, alterando o conceito de realidade local. A observação deste fenômeno nos leva a concluir que pode existir correlação entre dois sistemas completamente isolados.

Mais recentemente, ele ganhou interesse renovado, como um valioso recurso físico para o processamento e a transmissão de informação quântica (Nielsen-Chuang, 2000; Bennet-DiVincenzo 2000). A presença de emaranhamento nos estados quânticos é uma das principais características responsáveis pelo considerável ganho de desempenho dos algoritmos quânticos em relação aos seus equivalentes clássicos. Por isso, estudos sobre as propriedades do emaranhamento presente em sistemas físicos propostos para implementação quântica são tão relevantes (dos Santos et al, 2009;).

A quantificação e caracterização do emaranhamento presente em estados quânticos arbitrários, no entanto, ainda é um problema em aberto na teoria da informação quântica (Horodecki et al, 2007). Apenas em casos muito simples, como sistemas de 2 qubits, é possível quantificar o emaranhamento para estados arbitrários (Wooters, 1998). Para sistemas mais complexos, é possível quantificar o emaranhamento apenas para estados puros (sistema isolado).

Neste trabalho, foi feito um estudo da teoria geral de estados quânticos, a classificação de estados quânticos emaranhados e uma análise dos principais quantificadores do grau de emaranhamento em estados quânticos, pretendendo aplicar estes quantificadores a sistemas de spins simples a fim de avaliar os quantificadores mais adequados a cada caso.

METODOLOGIA

A primeiro momento, foi feito um estudo introdutório da mecânica quântica, a respeito da equação de Schrödinger, a interpretação estatística, o princípio da incerteza, estados estacionários, espaço de Hilbert, observáveis e autofunções de um operador hermitiano. Este estudo foi feito através do livro (Griffiths, 2011).

Para compreender o formalismo da mecânica quântica, foi feita uma revisão de álgebra linear. A álgebra linear é principal ferramenta matemática da mecânica quântica,

usada para descrever estados quânticos, operadores, etc. A notação de Dirac complementa a álgebra linear tradicional, auxiliando bastante nos cálculos referentes à mecânica quântica.

Após o estudo introdutório e a revisão de álgebra linear, foi feito o estudo dos postulados da mecânica quântica. Os postulados da mecânica quântica devem servir de fundamento para qualquer estudo que se faça na área. A partir deste estudo, é possível compreender a definição e interpretação de estados quânticos, operadores, observáveis, etc. As aplicações desta seção foram feitas com base no experimento de Stern-Gerlach.

Finalmente, foi estudado o fenômeno do emaranhamento, suas consequências, e os operadores densidade, usados para definir o nível de emaranhamento de um sistema quântico. As aplicações do emaranhamento foram feitas tendo como base um sistema de dois qubits.

Devido à antecipação do fim do trabalho, este só avançou até a fase da pesquisa na literatura, não alcançando, portanto, a fase de coleta de resultados.

RESULTADOS

A mecânica quântica possui quatro postulados. Segundo o primeiro postulado, um sistema é totalmente especificado por um elemento de um espaço vetorial que possui produto interno, ou seja, é um vetor. De acordo com o segundo postulado, as observáveis são representadas por operadores hermitianos, sendo que a média de uma observável A é dada por $\langle A \rangle = \langle \Psi | A | \Psi \rangle$. O terceiro postulado declara que a evolução temporal do estado do sistema é dada pela equação de Schrödinger. Por último, segundo o quarto postulado, imediatamente após uma medição fornecer como resultado um autovalor a , o sistema assume o estado correspondente $| \psi_a \rangle$.

Um estado quântico pode ser visto como uma superposição de possíveis estados quânticos que uma determinada partícula pode assumir após a medição. O vetor que representa um estado quântico descreve esta superposição. O quadrado de cada elemento do vetor – considerando que o mesmo está normalizado – indica a probabilidade de o sistema colapsar para o estado correspondente ao índice do vetor. Quando há mais de uma partícula em estado de emaranhamento, quando, imediatamente após uma medição, uma partícula colapsa para um estado, a outra partícula emaranhada também colapsa para o estado que corresponda com o estado composto e o estado da primeira partícula.

Para a melhor compreensão do fenômeno do emaranhamento, estuda-se o paradoxo de EPR e as desigualdades de Bell. O paradoxo EPR ilustra justamente como em um sistema com dois spins em estado de entrelaçamento uma medição influencia na outra, mesmo estando totalmente isoladas entre si. As desigualdades de Bell reforçaram a noção da incompatibilidade da mecânica quântica com a ideia de realismo local, mostrando que na mecânica quântica, em sistemas emaranhados, as probabilidades de encontrar resultado não podem ser calculadas da mesma forma que em sistemas clássicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A compreensão do emaranhamento contribuiu significativamente para a elaboração do transporte da informação quântica. Num computador quântico, as operações são feitas sobre

qubits, que podem ser fótons, spins etc. As portas lógicas quânticas podem ser representadas por matrizes, como operadores sobre os qubits.

Os computadores modernos surgiram a partir da aplicação dos princípios físicos da eletrônica, e tiveram um enorme impacto na sociedade, trazendo a era da informação. Hoje em dia em praticamente todo lugar há um computador.

A física quântica, desde seu surgimento, representou uma revolução na concepção da realidade física. Muito foi estudado, escrito, pesquisado para compreender as novas descobertas do início do século passado.

A aplicação da mecânica quântica na computação certamente trará uma revolução tecnológica ainda maior na sociedade.

BIBLIOGRAFIA

SANTOS, F. B. M. dos; DIAS, R. M.; MACEDO, A. M. S.. Phys. Rev. A 79,032329 (2009).

BENENTI, Giuliano; CASATI, Giulio; STRINI, Giuliano. Principles of quantum computation and information. New Jersey: World Scientific, 2008. v.1 ISBN 9789812388308

COHEN-TANNOUDJI, Claude; DIU, Bernard; LALOE, Franck. Quantum mechanics. New York: J. Wiley, Paris: Hermann, c1977. 2v ISBN 0471164321

GRIFFITHS, David. Mecânica Quântica. Pearson Education, 2011. 2ª ed ISBN 9788576059271

NIELSEN, Michael A.; CHUANG, Isaac L. Computação quântica e informação quântica. Porto Alegre, RS: Bookman, 2005. 733p. ISBN 8536305541