



DETERMINAÇÃO DE FASES GEOMÉTRICAS EM ONDAS QUÂNTICAS DE MATÉRIA: CÁLCULO ANALÍTICO E MÉTODOS COMPUTACIONAIS

ARAUJO, Flaviane Silva¹; CABRAL, Luís Antonio².

RESUMO

Neste trabalho, a fase de Gouy em ondas de matéria quântica é estudada teórica e computacionalmente, fenômeno importante para a compreensão da dualidade onda-partícula em sistemas quânticos. O estudo baseia-se na adaptabilidade do experimento de dupla fenda a feixes gaussianos e na aplicação de métodos analíticos e computacionais. Usando linguagens de programação como Python para realizar simulações para calcular a mudança de fase de Gouy e analisar seu impacto no padrão de interferência. Os resultados obtidos indicam que a fase Gouy desempenha um papel crucial na mudança do padrão de interferência das ondas de matéria, o que pode ter implicações para pesquisas futuras nas áreas de óptica quântica e computação quântica.

Palavras-chave: Ondas quânticas de matéria. Feixes gaussianos. Fase de Gouy. Mecânica quântica.

1

2



● INTRODUÇÃO/JUSTIFICATIVA

Este estudo discute a fase Guy em ondas de matéria quântica, um fenômeno fundamental para a compreensão da dualidade onda-partícula em sistemas quânticos. A pesquisa é baseada no experimento da dupla fenda em feixes gaussianos e no uso de cálculos analíticos e simulações computacionais para avaliar o efeito dos padrões de interferência de fase de Guy. A principal área de pesquisa é a física, com ênfase na mecânica quântica. Por outro lado, a óptica também foi estudada de forma secundária.

Este fenômeno tem sido extensivamente estudado em óptica clássica e quântica, pois é relevante para experimentos que envolvem medições de interferência e difração de partículas como elétrons e fótons. Um exemplo de aplicação é o uso da fase de Gouy na tecnologia de informação quântica, onde a manipulação precisa de fases geométricas pode melhorar o controle de sistemas quânticos.

As atividades realizadas neste estudo são cruciais para aprofundar a compreensão teórica da fase de Gouy e demonstrar através de simulações como este fenômeno altera os padrões de interferência. A pesquisa não apenas contribui para o avanço da física quântica, mas também ajuda destinatários, como futuros



profissionais e pesquisadores, a explorar esses princípios em experimentos e tecnologias quânticas avançadas.

Essas atividades foram motivadas pela necessidade de aprofundar a compreensão teórica e experimental da fase de Gouy na física quântica, tema desafiador que, embora introduzido na graduação, tem sido ampliado na pós-graduação. O estudo combina ensino, pesquisa e extensão, colocando em prática conceitos teóricos e criando novos métodos que podem ser compartilhados e utilizados em tecnologias.

- **BASE TEÓRICA**

A dualidade onda-partícula, um princípio essencial da mecânica quântica, foi amplamente investigada ao longo do século XX. Proposta inicialmente por Louis de Broglie, essa ideia sugere que partículas subatômicas, como os elétrons, podem apresentar características de ondas em determinadas condições experimentais, evidenciadas em fenômenos como a interferência e a difração. Experimentos clássicos, como a difração de elétrons e a interferência em fenda dupla, foram cruciais para revelar o comportamento ondulatório da matéria. Richard Feynman e outros autores enfatizaram a natureza probabilística das partículas no contexto quântico.



A fase de Gouy, inicialmente explicada no contexto da óptica clássica por Born e Wolf, é uma variação de fase que ocorre quando feixes gaussianos passam por uma região focal. Embora seja um fenômeno descrito pela óptica convencional, também tem relevância importante para ondas de matéria na mecânica quântica. Pesquisadores como Cohen-Tannoudji e Sakurai estabeleceram bases teóricas que conectam o formalismo quântico da função de onda com fenômenos de fase e interferência. Além disso, artigos estudados como o de Koleják, que aborda a compensação da fase de Gouy em espectroscopia de Terahertz, foram essenciais para entender como essa fase geométrica pode ser controlada em experimentos modernos.

- **OBJETIVOS**

Objetivo Geral:

- Estudar a importância das fases geométricas, em particular a fase de Gouy, em ondas de matéria quântica.

Objetivos Específicos:

- Realizar cálculos analíticos para determinar a fase de Gouy.
- Utilizar métodos computacionais (Python) para modelar a fase de Gouy e a difração de ondas planas.



- Analisar o impacto da fase de Gouy nos padrões de interferência em ondas de matéria.

- **METODOLOGIA**

A metodologia deste trabalho combina uma abordagem analítica e computacional para analisar a fase de Gouy em ondas de matéria quântica. A pesquisa começou com uma revisão bibliográfica em mecânica quântica e óptica, como os de Cohen e Tipler, além de artigos, como o de Koleják. A partir daí, foram realizados cálculos analíticos com a equação de Helmholtz, para a variação da fase ao longo da propagação de feixes gaussianos, utilizando funções complexas e as equações de Cauchy-Riemann.

Em seguida, simulações computacionais foram executadas utilizando o Python, usando as bibliotecas NumPy e Matplotlib, também foi utilizado o software Maxima. Um código específico foi desenvolvido para simular a difração de ondas planas e a variação da fase de Gouy, permitindo a visualização dos máximos e mínimos de intensidade no padrão de interferência.

- **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados obtidos a partir dos cálculos analíticos realizados e das simulações computacionais permitiram perceber a importância da fase de Gouy no



comportamento das ondas de matéria quântica. As simulações computacionais confirmaram que a fase de Gouy apresenta uma variação assintótica, influenciando significativamente os padrões de interferência de ondas quânticas. Observou-se que o deslocamento causado pela fase de Gouy altera a posição dos máximos e mínimos de intensidade no padrão de interferência.

- **CONCLUSÃO/CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Esta pesquisa ampliou o entendimento acerca da fase de Gouy e sua relevância em fenômenos de interferência e difração de ondas de matéria. Os resultados destacam a importância deste fenômeno em experiências quânticas e apontam para possíveis utilizações na óptica quântica. A aplicação de técnicas computacionais foi crucial para observar e investigar as sutilezas deste efeito, que pode ser explorado em experimentos futuros e tecnologias quânticas.

- **REFERÊNCIAS**

KOLEJÁK, P. et al. Experimental Gouy phase shift compensation in Terahertz time-domain spectroscopy. *Photonics and Nanostructures - Fundamentals and Applications*, v. 31, p. 129–133, 2018

COHEN-TANNOUJDI, B.; DIU, C.; LALOË, F. *Quantum Mechanics*. Volume II. New York: Wiley, 1977



TIPLER, Paul A.; LLEWELLYN, Ralph A. *Física Moderna*. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

- **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Tocantins (Fapt), na Universidade Federal do Norte do Tocantins (UFNT).