

# ANÉIS QUÂNTICOS: CONCEITOS FUNDAMENTAIS

**Iuri Santos Bulhões<sup>1</sup>; Carlos Alberto de Lima Ribeiro<sup>2</sup>**

1. Bolsista PROBIC/UEFS, Graduando em Bacharelado em Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: [pryngos@gmail.com](mailto:pryngos@gmail.com)
2. Orientador, Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: [calr@uefs.br](mailto:calr@uefs.br)

**PALAVRAS-CHAVE:** anel quântico, efeito Aharonov-Bohm, defeito topológico.

## INTRODUÇÃO

Uma das teorias mais instigantes que se consolidou no século XX é a Teoria Quântica. Ela nasce de uma resposta às duas nuvens negras que pairavam sobre a Física: o efeito fotoelétrico e a radiação de corpo negro. A partir do estudo de espectros de gases, constrói-se uma busca pelo entendimento desses espectros, que passaram a ser percebidos em diferentes materiais, e em estrelas, através da espectroscopia.

Com a proposta de Max Planck chega-se a uma fórmula que consegue cobrir os dados experimentais que se tinha na época, e publica seus resultados em 1900. Nessa proposta ele introduz a famosa constante de Planck e introduz a quantização da energia. Um grande desenvolvimento da mecânica quântica acontece ao longo de todo o século XX. Grandes embates foram travados pelos pesquisadores em busca do seu entendimento, e por fugir do senso comum, ainda hoje não é bem entendida.

Em 1959, Aharonov e Bohm no estudo do efeito de um potencial quântico encontraram um efeito perceptível, através de uma proposta teórica, para o caso de um espalhamento de um elétron por um solenóide infinito (AHARONOV; BOHM, 1959). Esse efeito foi encontrado no ano seguinte por Chambers (CHAMBERS, 1960).

Em 1984, M. V. Berry mostra que a fase do efeito Aharonov-Bohm é uma fase geométrica. Na descrição de Berry, ao percorrer um caminho fechado, o ente quântico adquire uma fase que guarda informações sobre possíveis potenciais presentes ao meio. As fases passam a ser denominadas de fases de Berry (BERRY, 1984). Uma série de propostas seguiu o trabalho de Berry com as mais diferentes configurações e elementos, a saber: dipolos elétricos, dipolos magnéticos, espalhamento de nêutrons, etc.

Uma possível extensão desse tratamento, bem como das ferramentas necessárias, seria tratar sistemas de baixa dimensionalidade como os nanotubos de carbono e os demais tipos de nanotubos que foram formados a partir da técnica desse primeiro (IIJIMA, 1991).

Os nanotubos de carbono são considerados materiais unidimensionais, apesar de sua forma. Um dos sistemas bidimensionais mais estudados no momento é o grafeno.

O grafeno é uma folha de átomos de carbono. Tinha a sua concepção impedida por teorias que proibiam a existência de materiais cristalinos bidimensionais, devido ao fato de que, em temperaturas próximas a do ambiente, haveria um derretimento desses materiais (NOVOSELOV et al., 2004). Grandes centros de pesquisa em física e em novos materiais estão dedicados ao grafeno.

Atualmente no país temos o desenvolvimento de pesquisa básica, tanto teórica como experimental (FONSECA, 2012). Trata-se de um esforço consolidado pelo Instituto de Ciência e Tecnologia de Nanomateriais de Carbono, INCT de Nanomateriais de Carbono (INCT, 2015). A proposição para essa nossa pesquisa é estudar os conceitos envolvidos na compreensão dos anéis quânticos e estudar as propriedades quânticas posteriormente.

## **MATERIAL E METODOLOGIA**

Os materiais a serem utilizados são: microcomputador para acesso a artigos no portal de periódicos da CAPES, impressoras e material de escritório que serão disponibilizados pelo Grupo de Pesquisa Defeitos Topológicos, Solitons e Aspectos Geométricos da Física em seu laboratório. Livros sobre mecânica ondulatória e sobre mecânica quântica em nível introdutório.

As atividades de pesquisa envolveram além da leitura, uma análise e discussão. Os encontros fizeram parte do processo de Iniciação Científica do estudante. Como primeira etapa em sua pesquisa, fizemos um levantamento bibliográfico sobre o tema em foco na bibliografia sugerida. Uma leitura criteriosa deve seguir esse passo inicial, que implica em análise dos artigos e livros e a preparação de breves revisões sobre o assunto, que serão apresentadas como seminário.

Entender os fenômenos ondulatórios é fundamental para o entendimento posterior de mecânica quântica, portanto as metas a serem alcançadas pelo estudante resultarão desse estudo. Em seguida terá acesso e buscará entender como associamos uma onda à partícula quântica. Devido a sua natureza teórica a nossa pesquisa demandará de ferramentas matemáticas, como entender uma equação de onda e fazer uma transposição desse conhecimento para entender a equação de Schrödinger, que também é equação de onda, mas dentro agora do contexto da mecânica quântica.

Em seguida tratar do ponto de vista conceitual o efeito Aharonov-Bohm, um dos efeitos fundamentais no tratamento de anéis quânticos. Há a superposição de algumas atividades pelo fato dos temas estarem entrelaçados. A compreensão dos defeitos topológicos e sua influência é o passo seguinte. Por último, deverá finalizar sua pesquisa com os seus entendimentos sobre os anéis quânticos e sobre o papel dos defeitos topológicos, e dos efeitos relevantes. Deverá produzir um texto e apresentação de seus resultados para exibição e publicação.

## **DISCUSSÃO**

No entendimento dos fenômenos ondulatórios prepara-se o caminho para o entendimento da mecânica quântica. Sob esse aspecto, uma onda é o transporte de energia de um ponto a outro e com velocidade definida, é dito como onda quando à transporte de energia sem que haja transporte de matéria. Quanto à sua classificação, existem dois tipos de ondas mecânicas, longitudinais e transversais. Um exemplo de onda longitudinal é a onda sonora que se propaga ao longo do eixo  $x$  do plano cartesiano, fazendo uma perturbação do meio na forma de compressão e rarefação. E um exemplo de onda transversal é uma onda em uma corda, que, ao ter sua extremidade movimentada para cima e para baixo cria um pulso que se propaga até o fim da corda, as onda transversais tem sentido de perturbação do meio no eixo  $y$ , mas a onda se desloca pelo eixo  $x$ .

O princípio da superposição diz que pode ter dois pulsos diferentes em uma mesma corda, isso vai gerar uma interferência e essa interferência fará com que exista uma onda resultante da soma dos dois pulsos. Sabendo disso se estuda outro tipo de onda, as ondas estacionárias, que se formam a partir de uma superposição de duas ondas iguais (amplitude, período e comprimento de onda), mas em sentido de propagação oposto, que acontece normalmente quando é uma onda sonora em um espaço fechado ou ondas de uma corda com as extremidades da corda fixas.

Do ponto de vista conceitual o efeito Aharonov-Bohm, um dos efeitos fundamentais no tratamento de anéis quânticos, é um efeito de interferência quântica que originalmente foi proposto sob o ponto de vista teórico por Y. Aharonov e David Bohm. Trata-se de

um solenóide infinito através do qual circula uma corrente elétrica. Essa corrente produz um fluxo magnético que devido à configuração, torna a região interna do solenóide impenetrável para um elétron que esteja na região externa. Na região externa não existe nenhum campo elétrico, ou magnético, apenas a presença de um potencial vetor. Eles mostraram que esse elétron sente a presença desse potencial vetor através de uma fase geométrica no padrão de interferência. Até então, acreditava-se que toda fase quântica em uma função de onda tinha sua informação perdida ao realizamos medidas através de qualquer operador quântico. Entretanto, Aharonov e Bohm chamaram a atenção para essa questão. Anéis quânticos são estruturas presentes em diferentes materiais na Física da Matéria Condensada. O conceito básico presente na física dos anéis quânticos é o confinamento quântico. Esse confinamento quântico produz condições especiais para a propagação de portadores de cargas elétricas, ou seja, alteram as propriedades de transporte desses materiais.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo sobre ondas e suas propriedades favorecem o entendimento da mecânica quântica no formalismo ondulatório de Erwin Schrödinger. As propriedades de interferência estão no cerne da mecânica quântica e são evidenciadas para partículas quânticas confinadas. A função de onda da mecânica quântica obedece a uma equação de onda, e suas propriedades satisfazem também propriedades semelhantes às das ondas em meios mecânicos. No estudo da associação de uma onda à matéria, vimos o princípio de de Broglie, que apresenta essa associação. Dessa forma o momento linear passa a ser o produto entre a constante de Planck e o inverso do comprimento de onda associado ao corpo. O efeito Aharonov-Bohm permite-nos entender a fase geométrica que surge quando do espalhamento de um elétron por um solenóide infinito. Ele serviu de base para os conceitos dos anéis quânticos. Vimos que os anéis quânticos são estruturas de confinamento que se comportam semelhantes aos poços de potencial unidimensional e bidimensionais na mecânica quântica. Portanto as propriedades de transporte nos materiais que abrigam tais estruturas são sensíveis às suas presenças.

## REFERÊNCIAS

- AHARONOV, Y; BOHM, D. 1959. Phys. Rev. v. 115, p.485.  
CHAMBERS, R. G.. 1960. Phys. Rev. Lett. v. 5, p. 03.  
BERRY. M. V. 1984. Proc. Royal Soc. A, v. 392 p.45.  
IJIMA, S. 1991. Nature, v. 354, pp. 56 – 58.  
RIBEIRO, C. A. de L., 2001. Dinâmica de partículas na presença de defeitos topológicos. Tese de Doutorado, UFPE, Recife-PE.  
FUHRER A. et al. 2001. *Energy spectra of quantum rings*, Nature 413, 822-825.  
GRECA, I. et al. 2001. Uma Proposta para o Ensino de Mecânica Quântica, Rer. Bras. Ens. Fis., vol. 23, no. 4, p. 444.  
NOVOSELOV, K. S., et al., 2004. Science, v. 306, n. 5696, pp. 666-669.  
WEBBER, M. C. M. ; RICCI, T. R..2006. Inserção de mecânica quântica no ensino médio: uma proposta para professores. Textos de Apoio ao Professor de Física, v.17 n.5.  
FONSECA, J. 2012. Algumas contribuições ao estudo do grafeno e dos isolantes topológicos, Tese de Doutorado, UFV, Viçosa-MG.  
FOMIN, Vladimir M. 2013. Physics of quantum rings. Springer Science & Business Media: Berlim.  
INCT, 2015. Nanomateriais de Carbono em <http://www.nanocarbono.net/index.php> , acesso em 24 de março de 2015.