



ESTUDOS DE TÓPICOS RELACIONADOS A COSMOLOGIA E CRISTAIS LÍQUIDOS – ANO III

Carolina Paz Barateiro Vignoto (PIBIC/CNPq/FA/Uem), Gabriel Antonio Flizikowski Siqueira (PIBIC/CNPq/FA/Uem), Paulo Ricardo Garcia Fernandes (co-orientador), Hatsumi Mukai (Orientadora), e-mail: hatmukai@gmail.com.

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Ciências Exatas/Maringá, PR.

Ciências Exatas e da Terra, Física.

Palavras-chave: Defeitos Topológicos, Mecanismo de Kibble, Carga Topológica

Resumo

O presente projeto deu continuidade aos estudos de cristais líquidos em analogia à cosmologia. Assim, foram introduzidos conceitos importantes sobre a teoria líquido cristalina, objetivando o avanço nos estudos sobre defeitos topológicos, dando ênfase nas características e num método de identificação dos mesmos.

Introdução

Neste terceiro ano de projeto o foco foi dar continuação aos estudos sobre os defeitos topológicos em sistemas líquidos cristalinos. Como se sabe, atualmente, é divulgada a origem do Universo por meio de uma grande explosão, o *Big Bang*. Estudos mostram que nessa explosão houve uma variação muito brusca de temperatura, ocorrendo uma quebra de simetria que originou os conhecidos defeitos topológicos. Pode-se fazer uma análise desses defeitos independente do meio analisado, como o utilizado nesse trabalho: os sistemas líquidos cristalinos. Neste contexto o estudo foi focado na teoria elástica do contínuo para compreender teoricamente a formação dos defeitos, sua classificação em defeitos e antidefeitos e a conservação da carga topológica. E como aplicação do elo com a Cosmologia, estudou-se o Mecanismo de Kibble (MUKAI, 2006; ANTONIO, 2009; ITAMI, 2010).





Materiais e métodos

Os materiais utilizados foram livros, dissertações de mestrado, monografias de TCC, teses de doutorados e relatórios de IC, que estão em parte citados na bibliografia apresentada. Na pesquisa bibliográfica fez parte da metodologia para esclarecer o tema, e além disso, foi adotado o estudo individual dos tópicos, onde estes foram apresentados em reuniões periódicas com o orientador, e a participação em seminários do grupo de estudo do orientador.

Resultados e Discussão

Em continuação ao desenvolvimento do projeto, focamos os estudos nos defeitos topológicos em cristais líquidos. Primeiramente, começamos estudando os tipos de defeitos topológicos, que são classificados teoricamente, e entre eles estão: do tipo ponto que se subdividem em *hedgehogs* e *boojums*, os do tipo linha e os do tipo parede. Após estudar como esses tipos de defeitos são gerados, estudamos a estabilidade dos defeitos. Para esse caso consideramos a mesofase nemática calamítica, onde o parâmetro de ordem é expresso por um tensor e introduzimos o conceito de Grupo Homotópico a fim de facilitar as definições de defeitos instáveis e estáveis (ANTONIO, 2009).

Posteriormente, foi feita uma revisão nos estudos dos projetos dos anos anteriores sobre o fato de que num sistema líquido cristalino as configurações buscam minimizar a energia. Essa minimização de energia foi apresentada em termos da Energia Livre de Frank, considerando a aproximação de constante única, pela seguinte equação:

$$F_v = \frac{1}{2} K |\nabla_{xy} \theta(\phi)|^2, \quad (1)$$

cuja solução é dada por: $\theta(\phi) = m\phi + \theta_0$. Como se pode observar na equação (1), há um parâmetro m que indica a intensidade da declinação, sendo este o fator que informa a configuração do vetor diretor ao redor do defeito, e apresenta valores inteiro e semi-inteiros, e destes, valores positivos e negativos. Aos valores positivos atribuímos o nome de defeito positivo ou só defeito, e aos negativos o nome de anti-defeito.

A partir disso, apresentamos uma das leis mais importantes nesse estudo, a lei de conservação da carga topológica (m). A carga topológica consiste em uma grandeza que se conserva em um sistema fechado, sendo assim um





invariante topológico. Segundo esta Lei, é previsto que na fase nemática calamítica de um CL, a soma defeitos e anti-defeitos devem se anular ao longo do tempo, e o meio torna se isotrópico. E isto é observado experimentalmente (ITAMI, 2010; GUIMARÃES, 2012).

Em continuação, temos que a energia livre de Frank pode ser escrita como a energia elástica do sistema da seguinte forma:

$$F_v = \frac{1}{2} K \frac{m^2}{\rho^2} \quad , \quad (2)$$

que representa a energia livre por unidade de volume do defeito. Se observamos a eq. (2) percebemos que F_v é proporcional ao quadrado do parâmetro m e quando nos aproximamos do centro do defeito ($\rho \rightarrow 0$) e a energia diverge, ou seja, trata-se de um ponto singular. Esse resultado ainda nos diz que é preferível que o sistema assuma valores mínimos para m . Assim, um defeito do tipo ± 1 (tipo ponto) tende a se dividir em dois defeitos do $\pm 1/2$ (tipo corda), uma vez que defeitos pontuais têm energia quatro vezes maior que as do tipo linha.

Em seguida, estudamos os defeitos e as texturas que algumas amostras podem apresentar. Na fase nemática, por exemplo, a superfície em que se encontra a amostra desse cristal líquido influencia no ordenamento das moléculas/micelas. Assim, o arranjo molecular que elas formam pode alterar o plano de polarização da luz. Essa alteração ou distorção na polarização da luz é chamada de birrefringência. Estudamos essa característica para a identificação e análise da configuração do vetor diretor das amostras de cristais líquidos, de trabalhos já existentes na literatura (ANTONIO, 2009; ITAMI, 2010; GUIMARÃES, 2012). Para a mesofase nemática calamítica, temos uma textura característica denominada *Schlieren*, apresentada por partes claras e escuras. Nela podemos notar dois tipos de defeitos, os do tipo ponto e os do tipo linha. Os do tipo ponto, ± 1 , são formados por quatro manchas escuras ligadas a um ponto, e os do tipo linha, $\pm 1/2$ são formados por duas linhas ligados a um ponto. Para identificar se o defeito é positivo ou negativo, gira-se o analisador em relação ao plano que se encontra nos sentidos horário ou anti-horário. Se o defeito acompanhar a rotação do movimento então ele é positivo, caso contrário, é um defeito negativo.

E, por fim, abordou-se o estudo sobre o mecanismo de Kibble na análise das texturas ópticas de um tipo de CL Liotrópico. O mecanismo de Kibble é um modelo que descreve a formação de defeitos topológicos no Universo Primordial (MUKAI, 2007). Este prediz que na transição de fase pode ocorrer a quebra espontânea de simetria produzindo domínios com diferentes configurações de mínima energia.





Conclusões

Abordamos uma analogia entre o sistema líquido cristalino e o Universo primordial, ou seja a formação dos defeitos topológicos em ambos os sistemas. Além disso, vimos que há um análogo ao parâmetro de ordem do sistema LC que no caso cosmológico é o campo de Higgs. Vimos também que o sistema líquido cristalino satisfaz o mecanismo de Kibble. Portanto, os estudos de defeitos topológicos em cristais líquidos realizados neste trabalho nos permitem prosseguir com a investigação sobre a relação entre os CLs e a Cosmologia. Um dos caminhos a serem seguidos é o aprofundamento matemático da teoria e o estudo de algumas modelagens computacionais no ramo (DE OLIVEIRA, 2012).

Agradecimentos

Agradecemos a UEM e ao CNPQ pelo apoio financeiro concedido; INCT-FCx/CNPq.

Referências

- ANTONIO, F. J. **Estudo de defeitos topológicos em cristais líquidos do ponto de vista cosmológico**. 2009. 121f. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.
- DE OLIVEIRA, B. F. **Estudos numéricos da formação e dinâmica de defeitos topológicos em cristais líquidos nemáticos**. 2012. 126f. Tese de Doutorado, Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2012.
- GUIMARÃES, R. R. **Investigação da dinâmica de defeitos topológicos em sistema líquido-cristalino**. 2012. 119f. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.
- ITAMI, A. S., **Estudo de um Fluido Complexo visando Aplicação Cosmológica**. 2010. 154f. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.
- MUKAI, H., FERNANDES, P.R.G., DE OLIVEIRA, B. F., DIAS, G. S., Defect-antidefect correlations in a lyotropic liquid crystal from a cosmological point of view, **Physical Review E**, U.S., v.75, p. 061704 - 6, 2007.

