

ESTUDO DE TÓPICOS DA RELATIVIDADE GERAL E CRISTAIS LÍQUIDOS – ANO 2

Maria Clara Giovanna Abe (PIBIC/CNPq/FA/Uem), Carolina Paz Barateiro Vignoto, Breno Ferraz de Oliveira (Coorientador), Hatsumi Mukai (Orientadora), e-mail: hmukai@dfi.uem.br.

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

Ciências Exatas e da Terra, Física.

Palavras-chave: Cristais Líquidos, Defeitos Topológicos, Método Numérico

Resumo:

Esse trabalho, apresenta a continuação dos estudos realizados no Ano 1, na qual foi revisto a ferramenta matemática utilizada: tensores; além do estudo de tópicos de Relatividade Restrita e Geral e parte do estudo sobre a teoria dos Cristais Líquidos focado para a fase nemática. Neste segundo ano, houve o preparo das equações na fase nemática, que não possuem soluções analíticas, para sua resolução por meio de cálculo numérico. Posteriormente, os parâmetros obtidos foram testados e relacionados com os defeitos topológicos. Para na sequência, serem analisados e comparados com os valores previstos no Universo Primordial e os obtidos pelo método experimental.

Introdução

Neste segundo ano de projeto, o trabalho foi realizado em três etapas: a primeira foi dedicada a uma revisão sobre os Cristais Líquidos, focando na mesofase nemática e na dinâmica do parâmetro de ordem. Ainda, estudou-se a propagação de luz e a generalização das equações que melhor descrevem a dinâmica dos defeitos em cristais líquidos. A segunda parte, foi dedicada ao estudo e uso do método numérico, sendo este o método de Runge-Kutta de segunda ordem. O conjunto de códigos utilizados foram escritos em linguagem C e chamados de NLC (*Nematic Liquid Crystal*) (VIGNOTO, 2017). Este tem como objetivo a resolução numérica das equações da dinâmica do parâmetro de ordem para o volume e para a superfície. Porém, nesse trabalho dedicou-se somente a sua aplicação no volume. A terceira parte, foi reservada ao estudo do Mecanismo de Kibble e sua aplicação. Sendo este mecanismo, o nome dado ao modelo que descreve a evolução de defeitos topológicos gerados no Universo Primordial quando o sistema sofreu uma transição de fase de primeira ordem. A análise feita, foi se a correlação de defeitos e antidefeitos encontrados nas texturas, obtidas pelo método numérico, satisfazem o Mecanismo de Kibble, bem

como, compará-los aos resultados obtidos via dados experimentais por Mukai e coautores (MUKAI, 2007).

Materiais e métodos

Fez-se uso de livros, artigos científicos, monografias de TCC, dissertações de mestrado, teses de doutorado e relatórios de IC relacionados ao conteúdo a serem estudados. Também, foi utilizado programação em linguagem C e o *software* Gnuplot. Além disso, foram ministrados e assistidos seminários dos membros do grupo de estudo dos orientadores.

Resultados e Discussão

Na comunidade científica, o modelo do *Big Bang* é a teoria mais aceita quando tratamos sobre a origem do Universo. Em 1929, foi notado por Edwin P. Hubble, em seus estudos, que as galáxias estavam se afastando da Terra. E que, quanto mais distante estivesse a galáxia e maior ela fosse, mais rápida era sua “velocidade de afastamento”, indicando que o Universo estava em expansão. Com isso, a teoria propõe que o Universo, em sua origem, era um ponto pequeno, quente e denso, da qual houve uma explosão e deu início a essa expansão.

Portanto, houve um momento na formação do Universo de extrema importância, que chamamos de Era Inflacionária. Nesta Era, o Universo passou por uma fase de crescimento exponencial e houve mudanças bruscas de temperaturas que implicaram em uma série de mudanças de fase levando a uma quebra simultânea de simetria do sistema. E assim, surgiram os chamados defeitos topológicos, que são os defeitos formados de acordo com o padrão simétrico quebrado. Quando isso ocorreu, o Universo encontrou diversas configurações que minimizaram a energia. Esse conjunto de configurações de energia mínima recebe o nome de variedade de vácuo (KIBBLE, 1980).

O Físico Britânico Thomas Walter Bannerman Kibble (1922-2016), conhecido no meio científico como Tom Kibble, foi um dos primeiros a estudar profundamente as transições de fase do Universo Primordial e a formação de defeitos por quebra de simetria. E, o processo de formação de defeitos topológicos no Universo Primordial, é denominado de Mecanismo de Kibble. Este prevê que após uma transição de fase de primeira ordem são formados os domínios e os defeitos topológicos são as junções desses domínios. Se as transições forem de segunda ordem usamos o mecanismo de Kibble-Zurek, que é o Mecanismo de Kibble reformulado (KIBBLE, 1980).

A Figura 1a é a representação da solução numérica da Equação (1):

$$\mu_1 \frac{\partial Q_{ij}}{\partial t} = - \Gamma_{ijkl} \frac{\delta F_T}{\delta Q_{kl}}, \quad (1)$$

na qual, μ_1 é o coeficiente de difusão rotacional que depende do parâmetro de ordem escalar e Γ_{ijkl} simetriza e torna o traço nulo a minimização da densidade de energia (DE OLIVEIRA, 2012). Esta solução foi obtida

utilizando o método numérico de Runge-Kutta de segunda ordem para este trabalho e, para trabalhar com o mesmo, utilizamos a programação em linguagem C para gerar as imagens das texturas.

E, a Figura 1b, apresenta um dos resultados da aplicação do Mecanismo de Kibble: neste analisamos a relação entre defeitos do tipo $+1/2$ (defeito) e $-1/2$ (antidefeito). Cada ponto representa um defeito e, para analisar se o ponto se trata de um defeito ou antidefeito, observamos a transição de cores ao redor de cada ponto no sentido horário. Os pontos em que as cores passam do vermelho para o amarelo (pontos lilás) são defeitos e que passam do amarelo para o vermelho (pontos verdes) são antidefeitos.

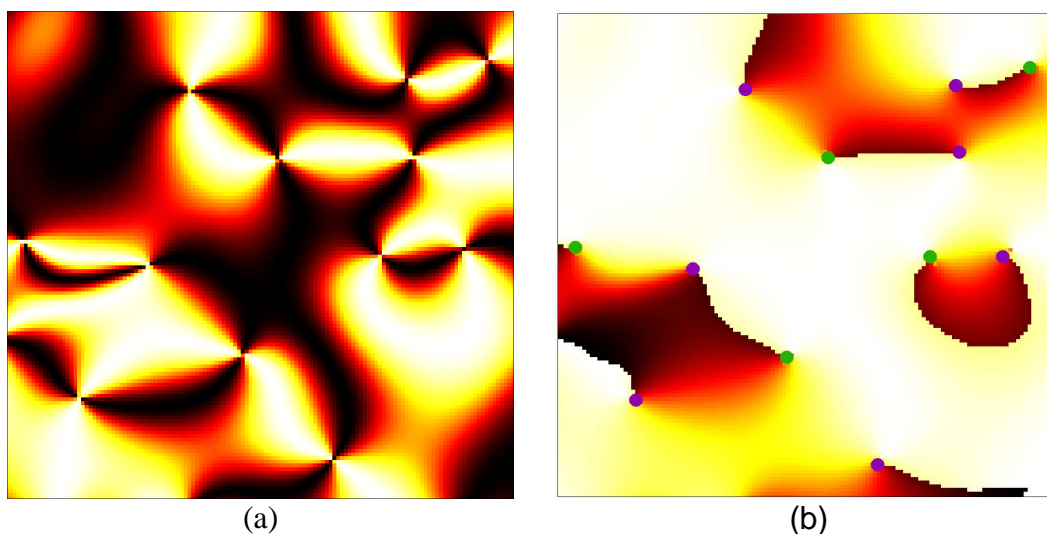


Figura 1: (a) Representação de uma textura de *Schlieren* com 12 defeitos (imagem 133x133 pixels). (b) Representação da distinção entre defeitos e antidefeitos.

Para que, a correlação de defeitos e antidefeitos obedeça o Mecanismo de Kibble em uma região com N defeitos topológicos é previsto uma distribuição gaussiana (DIGAL, 1999). A variância (σ) é dada pela seguinte relação:

$$\sigma = CN^{\nu} \quad (2)$$

sendo nesta, C uma constante de proporcionalidade e ν o parâmetro que indica se há (igual a $1/4$) ou não (igual a $1/2$) correlação entre defeitos e antidefeitos. Para o Universo Primordial ν é igual a $1/4$, indicando que há correlação entre defeitos e antidefeitos e $C=0,71$ (DIGAL, 1999).

Nas figuras geradas, como exemplo a Figura 1b, analisamos a quantidade de defeitos que cada uma contém e, selecionamos apenas as figuras do mesmo tamanho que continham o mesmo número de defeitos. Posteriormente, classificou-se quais são defeitos e quais os antidefeitos. Feito a análise estatística, o próximo passo é obter o fator de correlação usando a Equação (2), onde suas variáveis são obtidas pelo método gráfico por meio do programa Gnuplot.

Conclusões

Serviram como base para nossos estudos três áreas do conhecimento: relatividade, cristais líquidos e métodos numéricos. Concluiu-se que os defeitos gerados em texturas numéricas de cristais líquidos satisfazem o Mecanismo de Kibble, tal como os defeitos encontrados no caso experimental.

Agradecimentos

Agradecemos a UEM e ao CNPQ pelo apoio financeiro concedido. E, aos meus orientadores Profa. Dra. Hatsumi Mukai e Prof. Dr. Breno Ferraz de Oliveira pela atenção, paciência e ensinamentos.

Referências

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.

DIGAL, S., RAY, R., SRIVASTAVA, A. M. Observing Correlated Production of Defects and Antidefects in Liquid Crystals. **Physical Review Letters**, United States, 83, 5030 (1999).

MUKAI, H., FERNANDES, P. R. G., DE OLIVEIRA, B. F., DIAS, G. S. Defect-Antidefect correlations in a lyotropic liquid crystals from a Cosmological point of view. **Physical Review E – Statistical Physics, Plasmas, Fluids and Related Interdisciplinary Topics**, United States, v. 75, p. 061704 – 6, 2007.

KIBBLE, T. W. B. Some implications of a cosmological phase transition. **Physics Reports**, North-Holland, 67, 183 (1980).

VIGNOTO, C. P. B. **Formação de Texturas em Cristais Líquidos na Fase Nemática via Cálculo Numérico**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, (2017). Disponível em: <<http://site.dfi.uem.br/wp-content/uploads/2018/01/03-Carolina-Paz-Barateiro-Vignoto-Bacharelado-2017.pdf>>. Acesso em 9 de julho de 2018.