

EMPAOTAMENTO DE FIO FLEXÍVEL EM CAVIDADE 3D COM OBSTÁCULOS

Cícera Carla de Souza Pereira (bolsista), Marcelo Andrade de Filgueiras Gomes (Colaborador, UFPE-PE), Valdemiro da Paz Brito (Orientador, Depto. de Física – UFPI)

INTRODUÇÃO

Nas últimas três décadas, o estudo de sistemas amassado foi aprofundado com especial ênfase em estruturas com topologia bidimensional [1,2]. Esses estudos experimentais deram origem a novos padrões de estruturas complexas caracterizadas por propriedades físicas anômalas e leis de escala robusta [3,4]. Conexões com os problemas clássicos das embalagens, as caminhadas aleatórias, polímeros, espumas (colóides) e novos conceitos como a energia de condensação [5,6] aumentaram o interesse pelo problema. Alguns autores têm examinado para este tipo de empacotamento um modelo para a embalagem de DNA em capsídios virais [7,8].

Foram feitos trabalhos de empacotamento com cavidades simples, mas, um trabalho mais recente mostrou experimentos de empacotamento de fios plásticos em cavidade 2D com pinos fixos, onde o limite de bloqueio deste processo não-térmico foi investigado em função do número de pinos para diferentes tipos de distribuição e simetrias da cavidade [9]. Nestas condições, foram calculadas para um fio plástico a entropia, a energia interna E e a energia livre. Nesse sistema foi identificada uma temperatura absoluta $T=T(N)$ que é proporcional ao inverso do número de pinos na cavidade, independente de como é feita a distribuição dos mesmos.

Através de analogias relativas aos fundamentos da termodinâmica, é mostrado que o fio apresenta uma fase condensada, descrita por lei de escala, que se assemelha ao gás de elétrons com interação de Coulomb a temperatura finita, com $E \sim T^2$ [10].

Investiga-se neste trabalho, se o empacotamento de fios flexíveis em uma cavidade 3D preenchida com pilares distribuídos em uma única direção, perpendicular à linha de injeção, possui também uma fase rígida, com energia dependendo quadraticamente da temperatura efetiva do sistema, entre outros aspectos percebidos no empacotamento em 2D com pinos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para os processos de empacotamento de fios flexíveis foram utilizados: (I) Célula em formato cúbico de volume 216 cm^3 , com paredes feitas de acrílico com 3 mm de espessura. (II) placas móveis vazadas para o encaixe dos pilares dispostas verticalmente nas paredes superior e inferior do cubo. (III) pilares feitos a partir de pedaços de um fio de aço com 2 mm de diâmetro (raio de bicicleta cromado) e 6 cm de comprimento. (IV) fio plástico de 1mm de diâmetro, composto por 0.4mm de cobre estanhado e uma cobertura de PVC com 0.3 mm de espessura (cabo telefônico CCI 50 X1). Cada experimento de empacotamento começa com o fio em linha reta horizontalmente passando pelos dois orifícios centralizados em duas placas opostas perpendicular à posição dos pilares. Empurrando manual e uniformemente o fio em ambos os lados da célula para o interior da cavidade, é observado que os fios com os maiores comprimentos tornam-se estruturas rígidas tomando formas amassadas. Percebeu-se também que a velocidade de injeção em cada canal nos experimentos foi da ordem de 1cm/s. No presente estudo a dificuldade na injeção

aumenta de forma constante, diferentemente da situação em uma cavidade 2D, e a velocidade de injeção vai a zero com a formação de um estado máximo de fios amassados dentro da cavidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pôde ser percebido a partir da Figura 1, que o fio dentro da cavidade 3D é, em geral, um estado emaranhado, diferente dos empacotamentos em cavidades 2D, pelo fato de haver maior grau de liberdade na cavidade. Percebemos também que quanto maior o número de pilares, n , menor é a fração de empacotamento $p(n)$, pois os obstáculos dificultam a penetração e distribuição do fio dentro na cavidade (independente de n ser ímpar ou par).

Quando o numero de pilares é par ($n=4, 16, 36, 64, 100, e 144$) a disposição destes na cavidade se dá de maneira em que não há pinos ao longo da linha de injeção. Com esses experimentos foi possível notar que a distribuição do fio na cavidade se localiza com maior densidade no eixo de injeção. Já com o número de pinos ímpares, a distribuição do fio na cavidade é diferente, há justamente na linha de injeção uma fileira de pilares forçando o fio a se deslocar para as outras áreas da cavidade por não haver maneira de preencher a linha de injeção.

Na figura 2, é possível verificar que os números de pilares ímpares (exceto $n=1$), possuem taxas de ocupação maiores que as taxas de ocupação dos casos com número de pilares pares (exceto $n=4$), justamente pelo fato citado acima, em que os pilares ímpares espalham mais o fio por toda a célula do que a distribuição dos pilares pares.



Figura 1: arranjo formado pelo empacotamento de fios flexíveis em cavidade cúbica com o numero de pilares $n=4$, e taxa de empacotamento máximo $p_{\text{máx}}=0,12\pm0,01$ **(a)** e $n=144$, taxa de empacotamento mínimo $p_{\text{mín}}=0,05\pm0,006$ **(b)**.

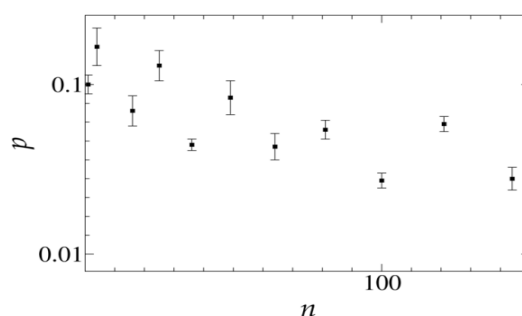


Figura 2: Gráfico linear-linear de $p \times n$ para fio não metálico empacotado em cavidade cúbica.

CONCLUSÃO

O interesse na realização de experimentos com estruturas amassadas de um fio plástico injetado em cavidades cúbicas com diferentes topologias, dadas por diferentes distribuições de pinos localizados numa rede quadrada, baseia-se, além de seu interesse intrínscio, em outros aspectos como as conexões com as propriedades estatísticas de um polímero em um meio com obstáculos [11-13] e a simulação de vários processos de empacotamento em diferentes temperaturas efetivas. No problema em foco, foi verificado que a analogia com o problema do gás de Fermi interagindo com forças de dois corpos à temperatura finita é mantida e uma transição de fase do tipo Kosterlitz-Thouless na taxa de ocupação da cavidade que ocorre no empacotamento em 2D é suprimida no caso 3D [14].

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. A. F. Gomes, Am. J. Phys. **55**, 649 (1987).
- [2] W. Bai, W.-C. Lin-Kun, T. and T.-M. Hong, Phys. Rev. E **82**, 066112 (2010).
- [3] C. C. Donato, M. A. F. Gomes, and E. R. Souza, de Phys. Rev. E **66**, 015102 (R) (2002).
- [4] Y. C. Lin, P. S. Lin and T. M. Hong, Phys. Rev. E **78**, 067101 (2008).
- [5] C. C. Donato, M. A. F. Gomes and R. E. Souza; Phys. Re. E (R) **66**, 15102 (2002).
- [6] M. A. F. Gomes, V. P. Brito, M. S. Araújo and C.C. Donato; Phys. Ver. E 81031127 (2010).
- [7] E. Katzav, M. Adda Bedia, and A. Boudaoud, Proc. Natl. Acad. Sci. EUA **103**, 18900 (2006).
- [8] M. A. F. Gomes, V. P. Brito and M. S. Araújo, J. Braz. Chem. Soc. **19**, 293 (2008).
- [9] M. A. F. Gomes, V. P. Brito, A. S. O. Coelho, and C. C. Donato, J. Phys. D: Appl. Phys. **41**, 235408 (2008).
- [10] M. A. F. Gomes, V. P. Brito, M. S. Araújo, and C. C. Donato, Phys. Rev. E **81**, 031127 (2010).
- [11] P. G. Gennes, *Escala Conceitos de Física de Polímeros* (Cornell University Press, Ithaca, 1979).
- [14] M. A. F. Gomes, V. P. Brito, C. C. S. Pereira (a aparecer)

Palavras-chave: empacotamento. 3D. obstáculos.

Apoio: Agradecemos à UFPI pelo apoio logístico e de infra-estrutura à realização da pesquisa, agradecemos também a CAPES, (ProjetoPROCAD/2007) pelo apoio financeiro dispensado ao programa