

液晶相転移: ツイスト配向液晶対流セル

1 液晶と Ising モデル

1.1 ツイスト配向とは

垂直に配向処理をしたガラスに液晶分子 (MBBA) を封入すると、右巻きあるいは左巻きの螺旋状に液晶が連なります (図 1 を参照)。各液晶分子はランダムにいずれかの状態を取り、隣り合う液晶が同じ巻き方だとエネルギーが低く、違う巻き方だとエネルギーが高くなります。[1]

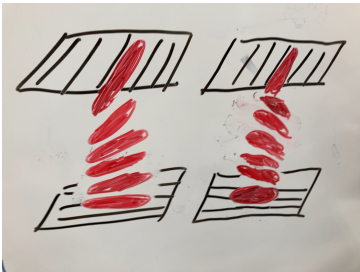


図 1: 液晶のツイスト

1.2 Ising との物理量の対応

ツイスト配向液晶は巻き方に関する反転対称性を持ち、これは Ising モデルのスピン反転対称性に相当します。両者の物理量の対応関係は以下の通りです (詳細は解説記事に譲る)。

表 1: 液晶と Ising モデルの対応

液晶	Ising モデル
巻き方 W_i	スピン S_i
期待値 $\langle W_i \rangle$	磁化 $m = \langle S_i \rangle$
電圧 V	温度 T
配向非対称性	外場 h

2 種々の非平衡相

液晶にかかる交流電圧の強さを変える (これは Ising モデルに対して温度を変える操作に相当します) と、様々

なパターンの相が現れます。この液晶 MBBA では 7V 付近が代表的な転移点です。

2.1 0V での様子

Ising モデルの低温極限に相当する状況です。黒い線はツイストの向きが揃ったドメインの境界を表します。

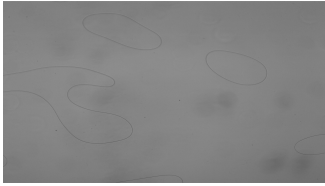


図 2: 0V での液晶の様子

2.2 10V 付近の対流

この液晶の”転移温度”に対応する電圧です。これ以上の高電圧をかけると、液晶分子の対流が観察されます。

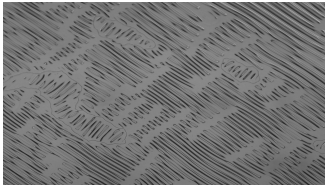


図 3: 10V での液晶の様子

2.3 27V 付近の二種類の乱流

さらに電圧をかけると 2 種類の乱流の相が出現します。明るい方は DSM1、黒い方は DSM2 と呼ばれ、高電圧下で DSM2 が徐々に広がっていく様子が観察できます。

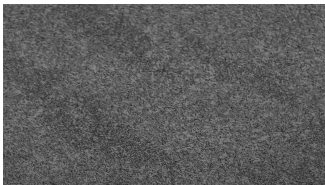


図 4: 27V での液晶の様子

2.4 40V 付近の高温極限

十分高電圧 (\leftrightarrow 高温極限) では液晶の配向は完全にランダムに振る舞い、DSM2 に支配された乱流の相になります。

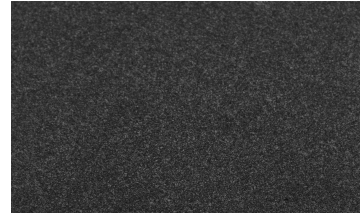


図 5: 40V での液晶の様子

3 臨界指数

転移点近傍では、物理量が、温度または外場のべき乗に比例して振る舞います。この指数を臨界指数といい、系の詳細によらず、対称性から決まることが知られています。これを普遍性 (universality) といいます。[2]

謝辞

東京大学理学系研究科の竹内一将准教授および図司陽平様 (当時竹内研 D3) には、この実験を含め Physics Lab. 2024 への多大なご協力をいただきました。心より感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 竹内一将. 液晶が切り拓く非平衡統計力学の普遍法則 - 液晶乱流 (動的散乱モード) を中心に -. 日本液晶学会誌, 24(4):218-227, 2020.
- [2] 西森秀稔. 新物理学シリーズ 35 相転移・臨界現象の物理学, volume 初版. 培風館, 2005.