

Abstract

極低温 ^4He は固体-液体界面での結晶成長の基本的特性を理解するのに理想的な系である。 ^4He は極低温で古典的固体とは全く異なった振る舞いをし、中でも固体 ^4He 中における負結晶の成長と運動はとても興味深い。負結晶とは固体中にできる気体や液体の泡であり、例えば水中の気泡などがこれにあたる。通常の固体中の負結晶は静止したままである。しかし、 ^4He 負結晶の運動の様子は強い温度依存性をもち異方的であるが、表面がラフな方向には浮力によって自由に動くことができる。また負結晶の成長、運動には必ず結晶化と融解を伴うため、界面の運動速度の温度依存性は結晶成長係数の温度依存性と関係している。液体中の結晶成長と違い、固体中の負結晶の運動を扱うとき負結晶内部の超流動 ^4He の流速は小さいので、 ^4He 負結晶の系はバルク内の粘性や流体の慣性には影響されず界面の形態や運動のみで決まるとみなすことができる。

いままで行われた実験では、固体 ^4He で満たされた容器の底にある音波発生器を用いてその直上に局所的に圧力の低い状態をつくり負結晶を生成させた。生成された負結晶は成長し、固体よりも密度が小さいため重力を駆動力として上昇しようとする。ある大きさに壁から離脱し、結晶が等方的であれば負結晶はほぼ球形で垂直に上昇していく。またこの実験では bcc 結晶中で負結晶の大きさを制御することはできず、直径が $2.7 \pm 0.3\text{mm}$ の負結晶しか作ることができなかった。

本論文では重力下で負結晶が成長、離脱、運動する様子を数値計算で解析する。離脱する際の球形負結晶の半径は負結晶の体積と壁との接触角によって決まる量であると考えられる。平衡状態と同じ接触角を持つ球の一部である負結晶を初期状態として与え、体積一定の条件で負結晶の形態を時間変化させることで、離脱する様子と離脱する球形負結晶の最小のサイズを調べた。この時の球形負結晶の最小半径は実験とほぼ一致した。さらに接触角を変えて同様の計算をすることによって球形負結晶の最小半径の接触角依存性を計算した。また、離脱する際の負結晶のくびれの時間変化や離脱後負結晶が球形に緩和するまでの様子と時間を調べた。