

光学格子^上2成分Bose粒子系における低励起モードの研究 2次元人工強磁場下における渦度分布, 相構造

名工大 久野義人、鈴木啓太、一瀬郁夫

研究目的

実験

光学格子

極低温 強相関原子系の研究

人工的な強磁場系の再現

理想的な量子系シミュレータ

理論、数値計算

・これまでに研究されていた
多くの理論モデルの検証、再現

ゲージモデル、分数量子ホール系
高温超伝導モデル etc...

・場の量子論の解析手法の検証
新しい状態相の理論的なさらなる探求

・計算機シミュレーションの適正、精度を
検証
量子モンテカルロ,
DMFT, GP方程式 etc...

本研究

2成分Boson系をターゲットに
極低温での状態相を検証、予言を行う

Two component Bosonic t-J model

Fermion t-J model
High-T Super conductivity

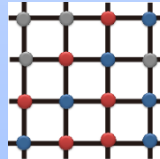
2D+1time T=0

$$J_z = 0$$

AF coupling

Effective field theory, Low energy excitation

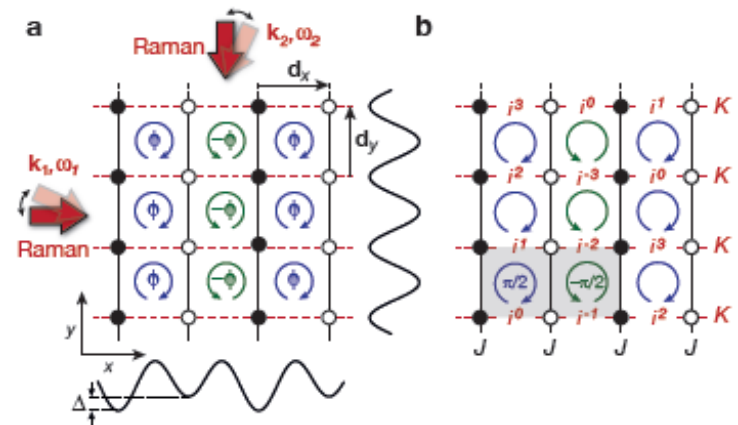
Z- component synthetic magnetic field



Vortex correlation

2D+1time T=0

Raman Laser hopping



- Staggered magnetic field
- Uniform magnetic field

結果1

Low energy Effective theory for Two-component Bosonic t-J model

$$H_{tJ} = - \sum_{\langle i,j \rangle} t(a_i^\dagger a_j + b_i^\dagger b_j) + \sum_{x,\mu} (J_{XY} \vec{S}_{x+\mu} \vec{S}_x + J_Z S_{x+\mu,3} S_{x,3}) \\ + V_0 \sum_i (\delta \rho_a^2 + \delta \rho_b^2 + \delta \rho_c^2)$$

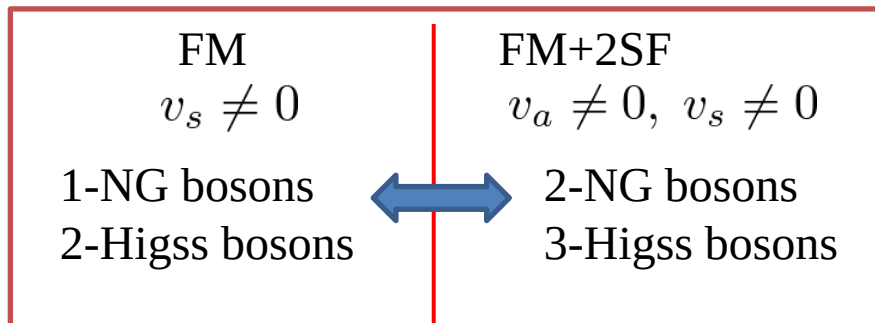


- ・有効場の理論を導出
- ・複数の基底状態の低励起モードの個数、種類を解析

Nambu-Goldstone boson Action

Higgs potential

擬スピン強磁性 (FM, Super-Counter-Fluid) → 2成分超流動 + FM (FM+2SF) 境界



Higgs modeの消滅の振る舞いは、NG Bosonの数とConsistent

結果2

Extended quantum XY model (EQXYM) in rotating optical lattice

複数の量子位相を記述する有効モデル

$$H_{EXY} = -\frac{1}{V_0} \sum_{x,\tau,i} \cos(\phi_{i,x+\tau} - \phi_{i,x}) + \sum_{x,\mu,\tau} \left[C_1 \cos(\phi_{12,x} - \phi_{12,x+\mu} - A_{1,x,\mu} + A_{2,x,\mu}) \right. \\ \left. - C_2 \cos(\phi_{13,x} - \phi_{13,x+\mu} - A_{1,x,\mu}) \right. \\ \left. - C_3 \cos(\phi_{23,x} - \phi_{23,x+\mu} - A_{2,x,\mu}) \right]$$

強磁場下

特定の磁場の値でVortex lattice形成

$$\mathbf{A}_{x,\mu} = \begin{pmatrix} \pi f \times iy \\ -\pi f \times ix \end{pmatrix} \quad 0 < f < 1$$

→ ある種の Bose condensation

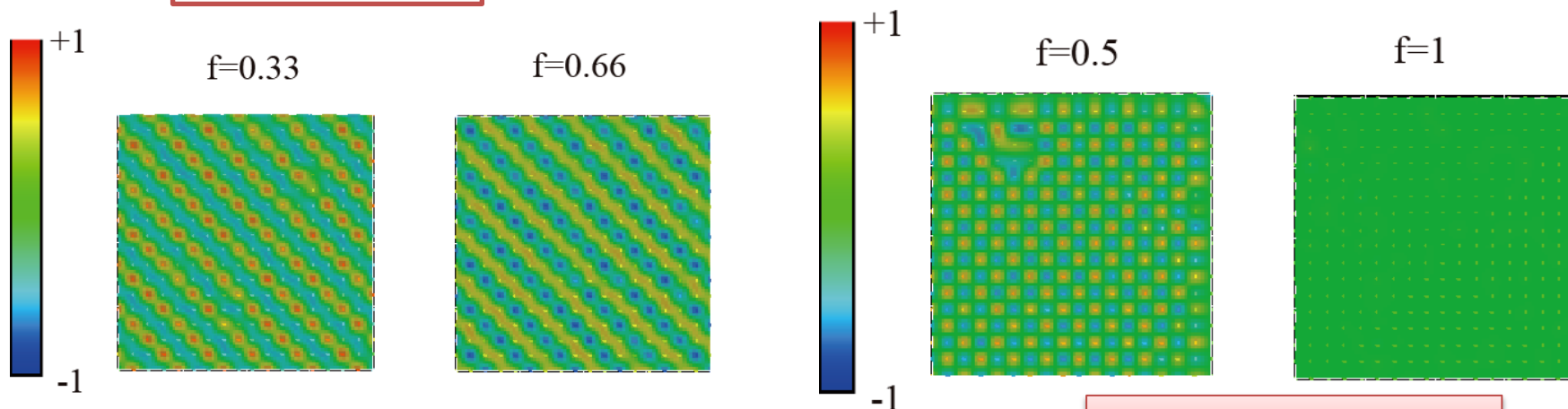
a粒子,b粒子位相のvortex

$f=1/3(a), 2/3(b)$

Vortex lattice

$f=1/2(a), 1(b)$

● vortex +1
● vortex -1



実験での観測を期待