

1次元量子sine-Gordonスピン系KCuGaF₆の素励起

Elementary Excitation of One-Dimensional Quantum sine-Gordon System KCuGaF₆

利用者 梅垣 いづみ¹⁾、小野 俊雄¹⁾、田中 秀数¹⁾、
脇本 秀一²⁾、金子 耕士²⁾、山内 宏樹²⁾、目時 直人²⁾、加倉井 和久²⁾

I. UMEGAKI, T. ONO, H. TANAKA, S. WAKIMOTO, K. KANEKO, H. YAMAUCHI, N. METOKI, K. KAKURAI

所属 ¹⁾東京工業大学、²⁾日本原子力研究開発機構

キーワード 量子スピン系、一次元系、ハイゼンベルグ反強磁性鎖(AFHC)、KCuGaF₆、交替磁場

1. 目的

一次元量子sine-Gordonスピン系KCuGaF₆はスピン $S=1/2$ の一次元反強磁性鎖(AFHC)であるが、結晶の対称性が低い為に通常のAFHCと異なり磁場中で外場に垂直な交替磁場が生じる。このような系は量子sine-Gordon場理論で記述できることが理論的に示されており、磁場中で有限の励起ギャップを持つことが予想されている[1]。実際にKCuGaF₆の比熱測定からギャップの存在を示す結果が得られており[2,3]、これまでに電子スピン共鳴実験でKCuGaF₆の $Q=0$ での素励起が観測されている[3]。量子sine-Gordon場理論の素励起はソリトン、反ソリトン、及びその結合状態であるブリーザーである。 $Q=0$ の素励起は階層構造を持つブリーザーである。素励起の構造の全容を理解する為には、励起エネルギーの波数依存性を調べる必要がある。 $Q=\pi$ 周辺でのゼロ磁場と有限磁場下の励起エネルギーを調べて、磁場中素励起の構造を明らかにする。

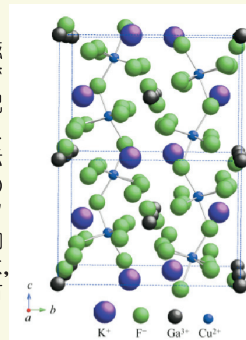


図1 KCuGaF₆の結晶構造

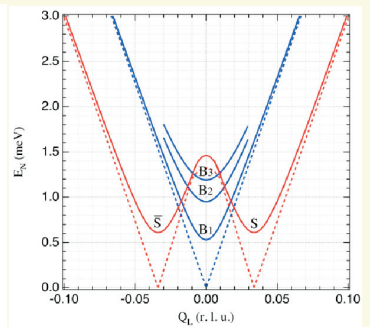


図2 AFHCの低エネルギー励起(点線)と量子sine-Gordon場理論で予想されている低エネルギー励起(実線)。

2. 方法

KCuGaF₆の単結晶を用いて、ゼロ磁場と有限磁場下で中性子非弾性散乱実験を行った。三軸分光器は以下の2つを用いた。

TAS-1: ゼロ磁場, 散乱面(110)

LTAS: 4K冷凍機, 10テスラマグネット, $H \perp (110), H // a, T = 3 \text{ K}, 5.3 \text{ K}$,

3. 実験結果

図4、図5にそれぞれ測定データを等高線プロットにまとめたものを示す。図4の点線、図5の実線は $J/k_B=103\text{K}$ としたときの理論値である。図4を見ると、des Cloizeaux Pearson (dCP)モード[4]としてよく知られた、AFHCの最も低い励起エネルギーを反映した励起が観測されている。dCPモードよりも高エネルギーには2-スピノン連続励起が広がっているが、散乱強度が弱く観測する事はできなかった。

図5は $H // a$ 方向のゼロ磁場と磁場 $H=10 \text{ T}$ での等高線プロットである。(a)のゼロ磁場下では分解能関数の広がりにより、低エネルギーのゾーンセンターでdCP励起モードを反映した励起を観測している。ゾーンセンターでは、2-スピノン連続励起に伴う散乱強度の増加が観測された。図5(b)は磁場中の結果であるが、(a)と比較して、明らかに磁場を引加する事で低エネルギーに励起ギャップが開いたことがわかる。

図6は $Q=(0,0,-1.02)$ でのエネルギーースキャンの磁場変化を示したもので、矢印の箇所に磁場により生じた励起による散乱ピークが観測された。

量子sine-Gordonスピン系の磁場中素励起は理論計算が割れており[5,6]、電子スピン共鳴の結果からエネルギーが求まっている[3]。それらと比較すると、 $Q=0$ のブリーザー励起と $Q=\pi \pm q_0$ ($q_0=0.034$)のソリトン励起のエネルギーと合致していることがわかった。しかしながら測定温度が $T = 5.3 \text{ K}$ と、第一ブリーザー励起のエネルギーと同等であったため、第一ブリーザー励起はぼやけてしまい、はっきりと観測出来なかったと考えられる。

4. まとめ

今回の三軸分光器を用いた非弾性散乱実験により、KCuGaF₆において量子sine-Gordon場理論から予想される素励起に伴う散乱が観測できた。 $Q=\pi$ のブリーザー励起に加えて、不整合波数 $Q=\pi \pm q_0$ でのソリトン励起も観測されたが、各々のブランチの波数依存性を調べるには至らなかった。今後より広範囲の波数空間、エネルギーでの測定による励起スペクトルの全容解明が望まれる。

5. 引用(参照)文献等

- [1] M. Oshikawa and I. Affleck: Phys. Rev. Lett. **79** (1997) 2883. [2] R. Morisaki *et al.*: J. Phys. Soc. Jpn. **76** (2007) 063706. [3] I. Umegaki *et al.*: Phys. Rev. B **79** (2009) 184401. [4] J. des Cloizeaux and J. J. Pearson: Phys. Rev. **128** (1962) 2131. [5] I. Affleck and M. Oshikawa: Phys. B **60** (1999) 1038. [6] F. H. L. Essler *et al.*: Phys. Rev. B **68** (2003) 064410.



図3 測定試料

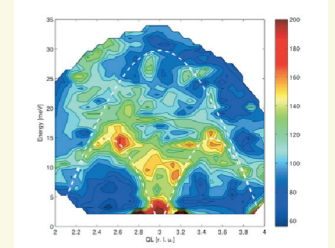


図4 ゼロ磁場での等高線プロットの結果

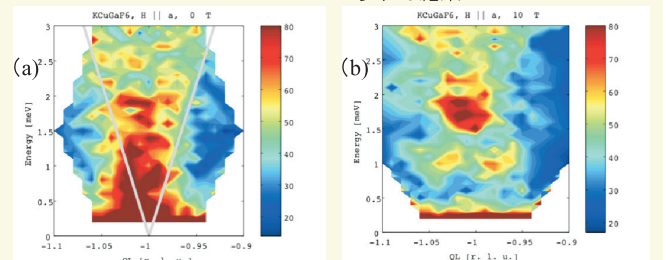


図5 ゼロ磁場と磁場 $H = 10\text{T}$ での等高線プロットの結果 ($H // a$)

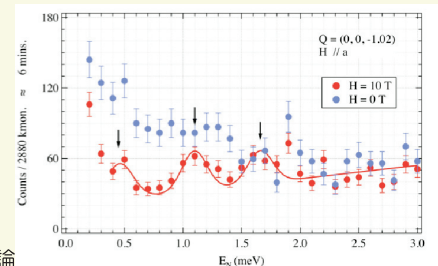


図6 ゼロ磁場と磁場 $H=10 \text{ T}$ でのConstant-Qスキャンの比較。