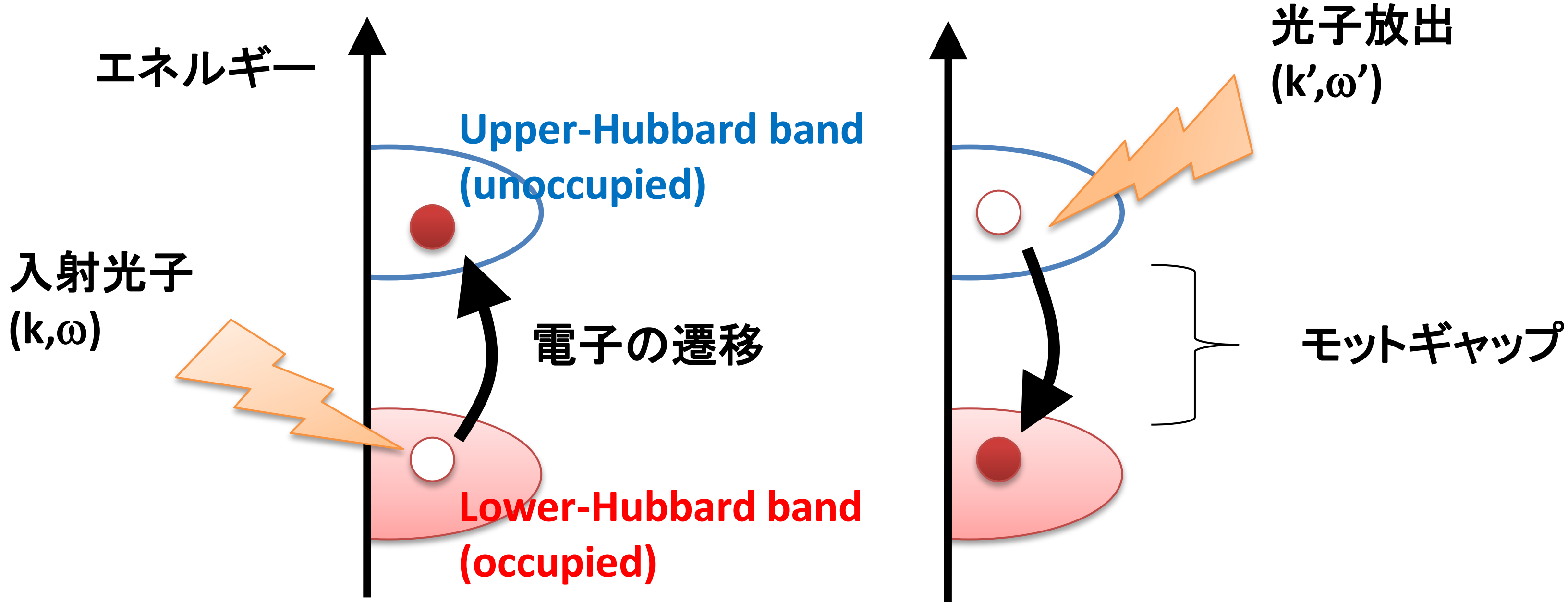
1次元量子磁性体における
スピン液体及びスピンギャップ相の
ラマン散乱による特徴付け

佐藤正寛　(青山学院大学理工)

M. Sato, H. Katsura and N. Nagaosa, PRL108, 237401 (2012)

モット絶縁体における電子ラマン散乱：電子と光子の非弾性散乱



散乱過程の前後で電子配置は変化なし：内部自由度のスピンが重要な役目をする

モット絶縁体における電子ラマン散乱 の理論

ラマン散乱スペクトル $I(\omega) \quad \propto \quad \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} dt\ e^{i\omega t}\langle \hat{R}(t)\hat{R}(0)\rangle$

$$\left\{\begin{array}{l} \omega = \omega_i - \omega_s \quad \text{入射放出光子のエネルギー差} \\ \text{ラマン演算子} \quad \hat{R} = \sum_{\langle i,j\rangle}(\hat{e}_i\cdot\hat{\delta}_{i,j})(\hat{e}_s\cdot\hat{\delta}_{i,j})A_{i,j}\underline{\vec{S}_i\cdot\vec{S}_j} \end{array}\right.$$

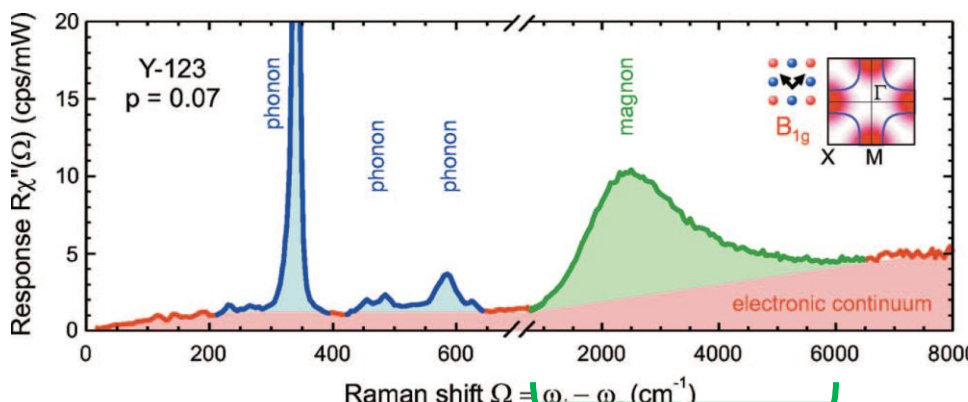
ハイゼンベルグ項に比例！

2又は3次元の磁気秩序(Neel)状態のラマン散乱

ハイゼンベルグ項 $\vec{S}_i\cdot\vec{S}_j$ により、2マグノンが中間状態で生成される

ラマンスペクトルにおいて、2マグノンによる連続スペクトルが観測される

2次元Neel状態の
ラマンスペクトル



2マグノン連続スペクトル

1次元量子磁性体のラマン散乱

1次元系では一般に低温でも磁気秩序が発生しない

最近接相互作用を持つS=1/2ハイゼンベルグ鎖模型 $\hat{H}_0 = J\sum_j \vec{S}_j \cdot \vec{S}_{j+1}$

対応するラマン演算子 $\hat{R}_0 = \sum_j (\hat{e}_i \cdot \delta_{j,j+1})(\hat{e}_s \cdot \delta_{j,j+1}) A_{j,j+1} \underline{\vec{S}_j \cdot \vec{S}_{j+1}}$

ハイゼンベルグ項に比例！

ハミルトニアンとラマン演算子が可換！ $[\hat{H}_0, \hat{R}_0] = 0$

つまりハイゼンベルグ鎖模型はラマン不活性(ラマン演算子はダイナミクスなし)

$$I(\omega) \propto \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} dt\ e^{i\omega t}\langle \hat{R}_0(t)\hat{R}_0(0)\rangle = 0 \quad (\text{for a finite } \omega)$$

この性質が、これまで1次元量子磁性体のラマン散乱の実験・理論がそれほど活発に研究されてこなかった理由の一つと考えられる

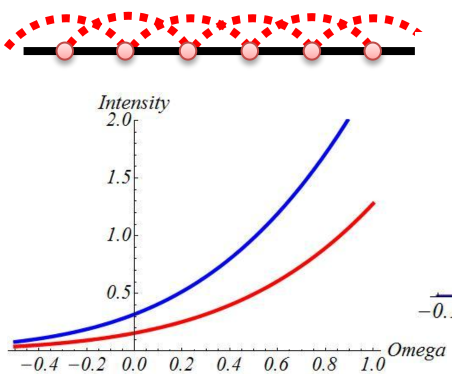
しかし、実際の1次元磁性体は**理想的なハイゼンベルグ鎖からずれている**！

$$\hat{H}_{\mathrm{real}} = \hat{H}_0 + \hat{V}$$ ずれ(摂動)

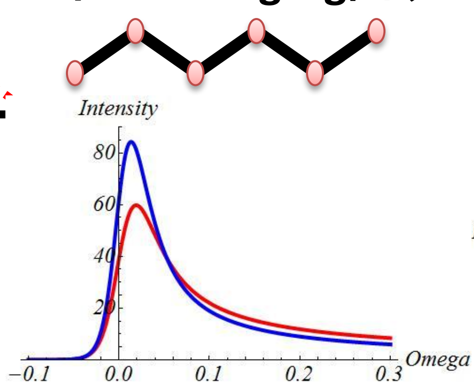
ハイゼンベルグ模型がラマン不活性であることは、逆に、
摂動項Vがラマンスペクトルの主要項を与えることを意味する！

我々は、場の理論とform factor methodを応用し、各種摂動を含む
ハイゼンベルグ鎖のラマンスペクトルを評価し、**摂動の種類に強く依存して**
スペクトルの形が決定することを示した(下図)！
すなわち、ラマンスペクトルから**摂動項についての微視的情報**が得られる！

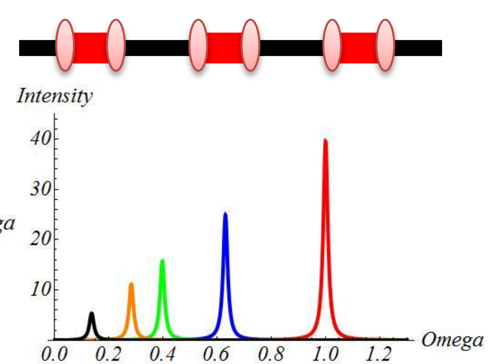
XXZ異方性、又は、
長距離相互作用



ボンドのzigzag曲り



ボンド交替項
(スピンパイエルス項)



スタッガード磁場