

博 士 論 文 公 聴 会

ご 案 内

下記の要領で博士論文公聴会を開きますのでご来聴下さい。

記

日 時 : 2020年2月6日(木) 13:00～14:30

場 所 : 理学研究科F棟6階会議室 (F608 号室)

発表者 : 上松 和樹
宇宙地球科学専攻
大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻 後期課程

題 目 : Randomness-induced universal quantum spin liquids in
frustrated magnets - Cooperation of frustration and
randomness in quantum magnets -
(フラストレート磁性体におけるランダムネス誘起の普遍的
量子スピン液体状態 - 量子磁性体におけるフラストレー
ーションとランダムネスの協奏 -)

宇宙地球科学専攻 大学院教育教務委員
中嶋 悟

学位申請者：上松和樹

論文題目：Randomness-induced universal quantum spin liquids in frustrated magnets

－ Cooperation of frustration and randomness in quantum magnets －

(フラストレート磁性体におけるランダムネス誘起の普遍的量子スピン液体状態

－ 量子磁性体におけるフラストレーションとランダムネスの協奏 －)

論文要旨：

多くの磁性体は低温において、相互作用のエネルギーを最小化するために何かしらの秩序化を起こす。しかし量子スピン液体と呼ばれるものでは、その強い量子揺らぎのために対称性の自発的破れや磁気秩序を示さないまま、相互作用のエネルギースケールよりもはるかに低温までスピンの液体的な揺らぎが持続する。その特異な性質から、量子スピン液体の研究は、量子情報、トポロジカル物質、非従来型超伝導、場の量子論などの近隣分野とも相互に関係しながら発展してきている。

量子スピン液体的振る舞いを実験的に実現する試みも、特に量子効果を増強できるフラストレート磁性体を対象として盛んに行われてきており、90年代後半以降、二次元の幾何学的フラストレート磁性体を中心に現実の物質でも観測されてきた。代表的なものとして、有機三角格子反強磁性体 κ -(ET)₂Cu₂(CN)₃、EtMe₃Sb[Pd(dmit)₂]₂、 κ -(Cat-EDT-TTF)₂などや、無機カゴメ格子反強磁性体ハーバートスミサイトZnCu₃(OH)₆Cl₂、あるいはグラファイト表面に吸着した³Heが示す核磁性などが挙げられる。これらの物質は極めてよく似た磁性を示し、その中の一つに低温の磁気比熱が温度に比例するという性質がある。最近では量子スピン液体候補物質は以前より多彩になっており、正方格子混晶反強磁性体Sr₂Cu(Te_{1-x}W_x)O₆やハニカム格子反強磁性体6HB-Ba₃NiSb₂O₉のような、幾何学的フラストレーションではなく次近接相互作用に由来したフラストレーションを有する二次元の磁性体、さらにはパイロクロア格子反強磁性体Lu₂Mo₂O₅N₂のような三次元のフラストレート磁性体など、その実現範囲を拡張しながら、より普遍的な状態としての性格が確立しつつある。一方で、これらの物質においてかなり普遍的に実現する量子スピン液体的振る舞いの本質的理解に関しては、未だ議論が続いている。

近年、フラストレーションや量子力学的な効果に加えて、物質中に内在するランダムネスや不均一性の効果が量子スピン液体的な振る舞いを誘起する上で重要な要素となりうることで、二次元の幾何学的フラストレート磁性体に対する理論研究によって提案された。これらの研究で報告されたランダムネス誘起のギャップレスな量子スピン液体状態—ランダムシングレット状態—は、大まかにはランダムに分布したシングレットの敷き詰め状態として理解できるが、ランダム性に由来したシングレットの敷き詰め方に対するマクロな縮退のために、シングレットを組み損なった「オーファンスピン」や局所的な共鳴構造を有している。ランダムシングレット状態は、現実の量子スピン液体候補物質と同様、温度に比例する低温比熱を示し、帯磁率や中性子散乱などの物理量においても実験と整合する振る舞いを示す。

本博士論文では、様々なタイプのフラストレートした量子ハイゼンベルグモデルに対して、ランダムネスの効果を厳密対角化法によって解析し、ランダムネスによって誘起される量子スピン液体状態の安定性と普遍性を調べた。その結果、フラストレート磁性体において生じるランダムシングレット状態は、相互作用の詳細や格子形状、さらには格子の空間次元にも依らず、ある程度のフラストレーションとランダムネスが存在する限りは実現し、その物性はこれらの変化に対しても定性的には変わらない普遍的なものだと分かった。また、ランダムシングレット状態の低エネルギー励起は、シングレットがトリプレットへ壊れる励起に留まらず、近隣のシングレットの組み換えを伴うオーファンスピンの拡散や、シングレットの局所的な共鳴構造の生成消滅など多彩であり、一次元非フラストレート系で実現する、シングレット-トリプレット励起しか持たない「非フラストレートランダムシングレット状態」とは本質的に異なることが分かった。本編では、フラストレート磁性体において生じるランダムシングレット状態と近年観測されている量子スピン液体候補物質との関係性など、実験的な側面についても議論する。