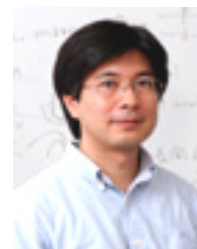


古崎物性理論研究室

Condensed Matter Theory Laboratory

主任研究員 古崎 昭 (博士 (理学))

FURUSAKI, Akira (Ph.D)



キーセンテンス :

1. 物質の普遍的な性質を理解する
2. 物質の多様性を理解する
3. 新しい物質相を見つける
4. 相転移現象を理解する

キーワード :

強相関電子系、磁性、超伝導、新奇量子秩序、量子相転移、トポロジカル絶縁体、アンダーソン局在

研究概要

当研究室では、物質の示すいろいろな性質を、物質中の電子に対する基礎理論（量子力学や統計力学）にもとづいて理論的に解明することを目指して研究している。多数の電子が相互作用しつつ運動している多電子系では、自発的に対称性の破れた秩序相が低温で現れ、温度・磁場・圧力などの変化とともに相転移が起きる。遷移金属・希土類酸化物や分子性導体などの強相関電子系における超伝導や磁性がその典型例であり、これらの量子現象の普遍性と物質に即した多様性を研究する。

三角格子、籠目格子、パイロクロア格子上の反強磁性体などのフラストレーションの強い量子スピン系では、磁気秩序の形成が抑えられて非自明な秩序状態が生じる。その一例であるスピン液体、スピン・ネマティック相やカイラル秩序相の性質について研究している。また、局所的秩序変数をもたないトポロジカル秩序相や、量子（スピン）ホール系などのトポロジカル絶縁体やトポロジカル超伝導体に関する研究も行っている。

1. ノンシンモルフィックな結晶対称性に守られたディラック・ワイル半金属 (Bojesen, 古崎)

らせんや映進などのノンシンモルフィック対称性のある結晶のバンド構造は、ブリルアン・ゾーンの端の対称点でバンドが接することは以前から知られていたが、スピン軌道相互作用が強い時にもそれらの接点（ディラック点、ワイル点、もしくはライン・ノード）が安定であるかは最近になって調べられ始めた問題である。我々は、いくつかの空間群（No. 11, 19, 59, 61, 62, 194, 198, 205）についてバンド構造を一般的に論じ、バンド接点がどのように安定化されるかを明らかにした。

2. [111]磁場下の量子スピンアイス (Bojesen, 小野田)

量子スピンアイスは、磁氣的希土類イオンを有するパイロクロア系に対するモデルであり、 $U(1)$ 量子スピン液体を実現するために多大なる関心もたれている。この $U(1)$ 量子スピン液体は、励起エネルギーギャップをもった非閉じ込めスピノンとして記述されるスピンアイスモノポール、および、光子と類似を示すギャップレス励起を有している。しかし、[111]磁場下での量子スピンアイスの広域的相図は明らかにされていない。我々は、バイアスのない量子モンテカルロシミュレーションを用いて、カゴメスピンアイスとモノポールの完全イオン偏極絶縁体との間に、古典スピンアイスにおけるような直接的不連

続転移が生じず、モノポールが超流動性と部分的イオン化の両方を示す超固体相が現れることを示した。また、降温とともに、カゴメスピナイスが、対応するカゴメ格子模型において生じるような共有結合性固体へ成長することを示した。

3. 高温量子スピナイスのためのスピネルイリジウム酸化物 Ir_2O_4 の第一原理設計 (小野田)

スピナイスに関連したいくつかの磁氣的希土類パイロクロア絶縁体では、ボーズ統計にしたがうモノポールスピノンが生じる。これらのスピノンは、量子電磁気学の磁氣的類似形に従い、エレクトロニクスの磁氣的類似への道筋を切り拓く可能性を有する。しかし、希土類モーメント間の相互作用は 1K ほどに小さいため、量子コヒーレンスを実現されるのは、1K 以下となってしまう。そこで我々は、第一原理計算から高温量子スピナイス物質を設計した。実験的にエピタキシャル薄膜として成長させられた、A サイトが脱離したスピネルイリジウム酸化物 Ir_2O_4 が、スピナイス則相互作用が数十 meV 程度の量子スピナイスの有力な候補であることが分かった。また、 Ir_2O_4 の電子構造を基板を通じて制御することにより、磁気クーロン液体が高温まで生き残るように磁氣的相互作用を調節することも可能であることが分かった。

4. 量子スピナイス系における「ジョセフソン効果」(中河西、小野田)

磁性フラストレーション系であるスピナイス模型において現れる、 $U(1)$ ゲージ場と結合した磁気モノポールと呼ばれるボーズ統計に従うスピノンに対して位相干渉効果を議論した。これは超伝導体のジョセフソン効果に類似の物理現象である。ボソンの凝縮状態に対応する 2 つの強磁性相を量子スピナイス相でつなぐことで、それぞれの波動関数の位相差に応じてモノポールカレントが流れることを示した。

5. フラストレートイジング模型におけるトポロジカル欠陥の凝縮 (Benton)

フラストレーションを持つ格子上のイジングモデルは、局所的な欠陥を励起として持つが、この励起は局所的演算子により生成または消滅することができない。これらのイジングモデルに対して横成分の項を導入すると、トポロジカルな励起が広がり、十分に強い摂動においてこれら励起が凝縮し、基底状態が不安定化する。トポロジカルな励起はそれらが強く結合する乱れを介して伝搬するため、微視的モデルにおいてこの不安定性の閾値を計算することは容易ではない。我々は、この問題を扱うために解析的摂動法を開発した。我々の方法は、パイロクロアとカゴメ格子における数値的研究の結果とよく一致しており、数値計算が困難な横成分の相互作用の場合にも適用できる。

6. $\text{Pr}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ における構造的乱れの効果 (Benton)

最近の研究は、非 Kramers 希土類イオンから成るパイロクロア磁性体 $\text{R}_2\text{M}_2\text{O}_7$ の構造的乱れが $U(1)$ スピナイス液体基底状態を安定化させることができ、このシナリオが $\text{Pr}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ において実現していると主張している。我々は、摂動理論、数値クラスター展開および厳密対角化計算を組み合わせて、この可能性を解析した。 $\text{Pr}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ の試料中に存在する乱れのレベルは、量子スピナイス液体基底状態を支持するには大きすぎることで、及びトポロジ的には自明な乱れ由来の常磁性状態が実験データとより一致することを見出した。

7. カゴメとパイロクロア格子における異方的交換相互作用の効果 (Benton)

幾何学的にフラストレートしたカゴメとパイロクロア格子において異方的交換相互作用の効果を研究した。これらの系の古典的相図を、古典モンテカルロシミュレーションと対称性の解析により得た。競合する古典秩序相の相境界は、スピン液体およびスピン・ネマティックのような新奇な量子状態の出現が期待される領域であるため、詳細に分析した。我々は、スピン双極子の代数的相関を有するが、スピン四極子の長距離秩序を有する、パイロクロア格子上の新奇なスピン・ネマティック相を見出した。

8. 量子揺らぎによって安定化される磁化プラトーにおけるスピン・ダイナミクス (紙屋)

三角格子ハイゼンベルクモデルやフラストレート正方格子ハイゼンベルクモデルなどの磁化過程にあらわれるプラトーは、量子揺らぎによって古典極限の偶然縮退が解かれる“order by disorder”の典型例である。我々はこのような揺らぎによって安定化されるプラトー状態の励起状態を記述する非線形スピン波理論の枠組みを開発し、これが量子極限 $S=1/2$ の三角格子反強磁性体 $\text{Ba}_3\text{CoSb}_2\text{O}_9$ の非弾性中性子散乱実験の結果を非常によく再現することを示した。

9. フラストレート磁性体における阻視化ダイナミクス (桃井)

フェルミ粒子とボゾン粒子からなる混合冷却原子系において、ボゾン粒子のスピン自由度が $\text{SU}(2)$ 対称性を持つフラストレートスピン系を実現することを示した。このスピン系は、エネルギー減衰がある系になっている。この系におけるスピン・ダイナミクスを数値的に調べ、幾何学的フラストレーションが阻視化ダイナミクスに与える影響を調べた。 Z_2 欠陥の存在により、阻視化ダイナミクスが著しく遅くなることを示した。

10. 三角格子上の反強磁性XXZ模型における磁場中磁性相の競合 (桃井)

三角格子上の反強磁性体のXXZ異方性を変えた場合の磁場中相図を飽和磁場近傍で調べた。この模型は、古典極限の等方なハイゼンベルグ模型において非自明な縮退を持つ。異方的な量子系においてこの縮退が解け2つの共面状態相 (π -coplanar相と0-coplanar相)と非共面状態 (umbrella) 相が現れる。この系は、長く0-coplanar相が出現すると信じられてきているが、近似理論以外のバイアスのかからない方法による検証はいまだにない。厳密対角化法を用いて、1000スピンを超える系における低励起状態を解析したが、その範囲においても2つの共面状態を判別することが不可能であることが分かった。また、クラスター平均場法を用いスピン $S=1/2, 1, 3/2$ の場合を調べ、相図を得た。結果は、 $1/S$ 展開による結果とよく一致を示している。

11. 場の理論の大域的異常と量子臨界相の対称性による保護 (古谷)

ある種の Z_2 対称性の存在下で、レベル k の $\text{SU}(2)$ Wess-Zumino-Witten 理論とレベル k' の $\text{SU}(2)$ Wess-Zumino-Witten 理論の間のくりこみ群の流れに制限があることを、弦理論のゲージ化と大域的異常の観点から非摂動的に示した。また、この場の理論間の関係を用いて、対称性の存在下では相転移なしに励起ギャップを生じさせることのできない、対称性に守られた量子臨界相という量子相の分類が可能であることを、量子反強磁性スピン鎖において例示した。

12. スピン・ネマティック秩序検出のための電子スピン共鳴理論 (古谷)

1次元量子磁性体における準長距離スピン・ネマティック秩序 (四極子磁気秩序) を検出するための実験手法を提唱した。本手法では、電子スピン共鳴スペクトル中の常磁性共鳴ピークに着目した。磁場

と磁性体の角度を平面内で変化させると、スピン・ネマティック秩序がある場合、常磁性共鳴ピークの線幅が他の 1 次元相や常磁性相と異なる独特の角度依存性を示すことを示した。

13. 巨大負熱膨張物質 BiNiO_3 の有効モデル化と電荷移動相転移 (妹尾)

ペロブスカイト型遷移金属酸化物 BiNiO_3 は、温度上昇に伴い体積が大きく収縮する「負」の熱膨張係数を示すことで注目されている。その機構は Ni の価数が変化する相転移による NiO_6 八面体構造の収縮であり、同時に Bi の価数が変化する電荷移動が起きる。この相転移のメカニズムを説明するため、単純化した 2 軌道ハバード型の有効モデルを構築した。平均場相図を導いたところ、Bi と Ni の軌道間のエネルギー差が電荷移動相転移に重要な役割を果たすことが分り、同様の物質系の電子状態の系統的な理解も与えることができた。

14. 分子性導体 $\kappa\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{X}$ における相競合と超伝導 (妹尾)

擬 2 次元的な構造をもつ分子性導体 $\kappa\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{X}$ は、バンド幅制御によりモット絶縁体と金属・超伝導相が隣接する系である。近年、その電子状態の有効モデルとして用いられてきた 1/2 充填のハバードモデルによって、モット転移は記述できても超伝導に関しては安定しない結果が複数得られた。そこでより基本となる、分子軌道を元にした 1/4 充填の拡張ハバードモデルの基底状態相図を、変分モンテカルロ法によって精密に調べた。その結果、モット転移線に沿って超伝導は安定するのではなく、サイト間クーロン斥力の効果が大きく電荷揺らぎが重要な領域で安定化することが分った。

15. スピンレス・フェルミオンの相転移の Density Matrix Embedding Theory による解析 (Plat)

Density matrix embedding theory (DMET) は、元のハミルトニアンを不純物モデルにマップすることにより、量子多体系のバルクの観測量を計算する近年提唱された数値計算手法です。この方法の有効性は、これまで既知のモデルにおけるエネルギーと局所相関の比較でのみ調べられてきた。ここでは、スピンレス・フェルミオンモデルのエンタングルメント・スペクトラムを調べることにより、波動関数の構造自体を確かめた。この方法は、量子相転移をととても正確に記述し、有限サイズ効果もとても小さいことが分かった。このように、DMET は、モデルのパラメーターを変えた時に出現する量子相転移の記述にととても強力な手法であることを明らかにした。

16. マグノンの異常ホール効果 (高橋隆志)

近年になって、マグノンの異常ホール効果が盛んに研究されている。本研究において、マグノンとフォノンの相互作用によって異常ホール効果をもたらすことをしめした。更に、従来の研究ではではマグノンとフォノンの相互作用は磁気弾性効果を介したスピン軌道相互作用が用いられているが、本研究においては磁気双極子相互作用からもたらされたマグノン-フォノン相互作用を研究し、マグノンとフォノンの混合におけるその寄与を示した。また、磁気双極子相互作用による混合は普遍的であり、単純な構造を持った磁性体でも異常速度が現れることを示している。

17. Bloch 状態における Landau-Zener トンネル効果 (高橋隆志)

Landau-Zener トンネル問題は、量子的な 2 準位系間のトンネル効果を簡潔に記述したものである。その透過確率は Landau-Zener 公式で与えられ、物性物理の分野に限らず広く使われている公式である。我々は Bloch 状態にある粒子における Landau-Zener 問題について研究を行い、格子系における粒子の

トンネル確率が Landau-Zener 公式で与えられるそれよりもかなり大きくなることを示した。そして、粒子の群速度が小さいか、または外力が小さい場合においては、格子効果が Landau-Zener 問題においては無視できないことを示した。

18. 密度変調した量子凝縮体におけるソリトン動力学の可解模型 (高橋大介)

超固体や Fulde-Ferrell-Larkin-Ovchinnikov 超流体を始めとする密度変調相にある量子凝縮体におけるソリトンダイナミクスを厳密に扱える有効可解模型を古典可積分系の手法に基づいて考案した。種数 $g=1$ のリーマン面上の逆散乱問題を解くことによりテータ関数で表される多ソリトン解を与え、密度比一様な背景と相互作用しながら伝播するソリトンの運動を明らかにした。更に、これらのソリトンはその形状や振舞い、そして背景凝縮体により分類され、ダークソリトンビリヤード、静的転位、グレイソリトン、包絡ソリトンが含まれることを示した。

Key Sentence:

1. Understand universal properties of materials
2. Understand diversities of materials
3. Find a new state of matter
4. Understand phase transitions

Key Words:

strongly-correlated electron systems, magnetism, superconductivity, novel quantum orders, quantum phase transitions, topological insulators, Anderson localization

Outline

Main aims of our research are to discover theoretically novel properties of materials and understand them from microscopic theory (quantum and statistical physics). Many-electron systems go into ordered phases with spontaneous symmetry breaking at low temperatures. Typical examples are superconductivity and magnetism of strongly-correlated electron systems in transition-metal or rare-earth oxides and molecular conductors, and these are our major research subjects.

However, in strongly-frustrated quantum spin systems such as triangular, kagome, and pyrochlore antiferromagnets, exotic quantum states without conventional magnetic order are expected to emerge. For example, we have recently studied spin liquids, spin nematic states, and chiral ordered states. In addition, we study novel topological states of matter: topological insulators and superconductors, and other symmetry protected topological states.

1. Dirac/Weyl semimetals protected by nonsymmorphic lattice symmetries (Bojesen, Furusaki)

It was known that electronic band structures of solids with nonsymmorphic crystal symmetries such as screw and glide often have band-touching points at high symmetry points in the Brillouin zone, and the stability of such band-touching points (Dirac points, Weyl points, or line nodes) under

strong spin-orbit coupling has been a focus of recent active studies. We have considered the general band structures for several space groups (No. 11, 19, 59, 61, 62, 194, 198, 205) and discussed how the band-touching points are stabilized due to nonsymmorphic symmetries.

2. Quantum spin ice under a [111] magnetic field: from pyrochlore to kagomé (Bojesen, Onoda)

Quantum spin ice, modeled for magnetic rare-earth pyrochlores, has attracted great interest for hosting a U(1) quantum spin liquid, which involves spin-ice monopoles as gapped deconfined spinons, as well as gapless excitations analogous to photons. However, the global phase diagram under a [111] magnetic field has remained open. In this work we have, by means of unbiased quantum Monte-Carlo simulations, uncovered that a supersolid of monopoles, showing both a superfluidity and a partial ionization, intervenes the kagomé spin ice and a fully polarized ionic monopole insulator, in contrast to classical spin ice where a direct discontinuous phase transition takes place. We also showed that on cooling, kagomé spin ice evolves towards a valence bond solid similar to what appears in the associated kagomé lattice model.

3. First-principles design of the spinel iridate Ir_2O_4 for high-temperature quantum spin ice (Onoda)

Insulating magnetic rare-earth pyrochlores related to spin ice host emergent bosonic monopolar spinons, which obey a magnetic analogue of quantum electrodynamics and may open a route to a magnetic analogue of electronics. However, the energy scales of the interactions among rare-earth moments are so low as 1 K that the possible quantum coherence can only be achieved at a sub-Kelvin. In this work, we have designed high-temperature quantum spin ice materials from first principles. It is shown that the A-site deintercalated spinel iridate Ir_2O_4 , which has been experimentally grown as epitaxial thin films, is a promising candidate for quantum spin ice with a spin-ice-rule interaction of a few tens of meV. Controlling electronic structures of Ir_2O_4 through substrates, it is possible to tune magnetic interactions so that a magnetic Coulomb liquid persists at high temperatures.

4. “Josephson effect” in quantum spin ice (Nakosai, Onoda)

We studied interference effect in bosonic systems coupled to emergent U(1) gauge field arising in geometrically-frustrated spin ice systems. This phenomenon is an analogue of Josephson effect in superconductors. We considered two ferromagnetic phases, which corresponds to condensation of bosonic spinons dubbed magnetic monopoles, weakly linked through a U(1) quantum spin liquid phase, and obtained the monopole current-phase relation with respect to the phase difference between these wave functions.

5. Condensation of topological defects in highly frustrated quantum Ising models (Benton)

Ising models on highly frustrated lattices can support topological defects as excitations, which cannot be created or destroyed by any local operator. Introducing transverse terms to these Ising models allows the topological excitations to propagate and for sufficiently strong transverse

perturbations they will condense, leading to an instability of the ground state. Calculating the threshold for this instability in a given microscopic model is not easy, because the topological excitations propagate through a disordered background to which they are strongly coupled. We have developed an analytical perturbation theory technique to treat this problem. Our method gives good agreement with published numerical studies on the pyrochlore and kagome lattices, and can also be applied in some cases of frustrated transverse interactions where controlled numerical calculations are difficult or even impossible.

6. Effects of quenched structural disorder in $\text{Pr}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ (Benton)

Recent work has suggested that structural disorder in pyrochlore magnets $\text{R}_2\text{M}_2\text{O}_7$ where R is a non-Kramers rare-earth ion can stabilise a U(1) spin liquid ground state and it has been claimed that this scenario is realized in the material $\text{Pr}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$. Combining insights from perturbation theory, numerical linked cluster (NLC) and exact diagonalization (ED) calculations we have analysed this claim. We have found that the level of disorder present in currently studied samples of $\text{Pr}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ is too great to support a quantum spin liquid ground state and that a topologically trivial, disorder-driven, paramagnetic state is more consistent with the available data.

7. Highly anisotropic exchange interactions on the kagome and pyrochlore lattices (Benton)

We have studied the consequences of highly anisotropic exchange interactions on the geometrically frustrated kagome and pyrochlore lattices. The classical phase diagram of these systems is obtained via a symmetry-based approach combined with classical Monte Carlo simulations. The phase boundaries between classical orders are analysed in detail as these are particularly favourable regions for the emergence of novel quantum states such as spin liquids and spin nematics. We have found evidence for the existence of a novel spin nematic phase on the pyrochlore lattice, with algebraic correlations of spin dipoles but long range order of spin quadrupoles.

8. Spin dynamics in fluctuation-induced magnetization plateaux (Kamiya)

Magnetization plateaux in frustrated quantum magnets in a magnetic field are archetypes of “order by disorder”, a mechanism of a ground-state selection out of accidentally degenerate classical ground state manifold through fluctuation. We developed a framework of nonlinear spin wave theory to describe excitations in the fluctuation-induced plateaux and demonstrated the remarkable efficiency by comparing against our inelastic neutron scattering experiments in the spin-1/2 triangular lattice quantum antiferromagnet $\text{Ba}_3\text{CoSb}_2\text{O}_9$.

9. Geometrically frustrated coarsening dynamics in spinor Bose-Fermi mixtures (Momoi)

Coarsening dynamics theory has successfully described the equilibration of a broad class of systems. By studying the relaxation of a periodic array of microcondensates immersed in a Fermi gas which can mediate long-range spin interactions to simulate frustrated classical magnets, we show that coarsening dynamics can be suppressed by geometrical frustration. The system is found

to eventually approach a metastable state which is robust against random field noise and characterized by finite correlation lengths with the emergence of topologically stable Z_2 vortices. We find universal scaling laws with no thermal-equilibrium analog that relate the correlation lengths and the number of vortices to the degree of frustration in the system.

10. Competing phases of triangular-lattice XXZ antiferromagnets near saturation (Momoi)

We studied quantum magnetic phases near the magnetic saturation of triangular-lattice antiferromagnets with XXZ anisotropy. Due to the strong frustration, the phase diagram contains a nontrivial coplanar phase, called the π -coplanar phase, and the well-known 0-coplanar (known also as V) and umbrella phases. We first reconsider this analysis by analyzing several low-lying eigenstates as a function of J/J_z . A careful identification analysis shows that the distinction between 0-coplanar and π -coplanar phases is fundamentally impossible from the symmetry-preserving finite-size calculations. Next, we also perform a cluster mean-field plus scaling analysis for small spins $S=1/2, 1, \text{ and } 3/2$. The obtained results, together with the previous large- S analysis, indicate that the π -coplanar phase exists for any S except for the classical limit and the existence range in J/J_z is largest in the case of $S=1/2$.

11. Global anomaly of field theory and symmetry protection of quantum critical phases (Furuya)

On the basis of gauging of string theories and their global anomalies, we showed that there exists a restriction by a symmetry on the renormalization-group flow between level- k and level- k' $SU(2)$ Wess-Zumino-Witten theories. Using the non-perturbative relation of $SU(2)$ Wess-Zumino-Witten theories, we also showed that a symmetry prohibits the ground state of a quantum antiferromagnetic spin chain from acquiring the excitation gap without encountering any quantum phase transition.

12. Theory of electron spin resonance for detecting the spin nematic order (Furuya)

I proposed an experimental method for detecting the quasi-long-range spin nematic order (the quadrupolar magnetic order) in one-dimensional quantum magnets. Here, we consider the relative angle of the direction of the magnetic field with the quantum magnet and focus on an angular dependence of the electron paramagnetic resonance peak. The linewidth of the electron paramagnetic resonance peak turned out to exhibit a characteristic angular dependence different from those in the other one-dimensional magnetic phases and the paramagnetic phase.

13. Effective model and charge transfer in negative thermal expansion material BiNiO_3 (Seo)

Perovskite transition metal oxide BiNiO_3 is attracting interest owing to its “negative” thermal expansion coefficient; By raising temperature, the material shows a large volume shrinkage. This is attributed to a phase transition where the valence of Ni varies, triggering the shrinkage of the NiO_6 octahedra, accompanied with the charge transfer between the Bi sites. To understand the mechanism of this phase transition, we have constructed a two-band Hubbard-type effective model. By deriving its mean-field phase diagram, we found that the relative energy between the Bi and Ni

sites plays a crucial role in the charge transfer transition. We have also provided a systematic understanding of its family compounds.

14. Phase competition and superconductivity in molecular conductors κ -(BEDT-TTF)₂X (Seo)

Quasi-two-dimensional molecular conductors κ -(BEDT-TTF)₂X is a system where Mott insulator and metal/superconductivity locate next to each other by tuning the band width. Recently, several studies on the frequently-used 1/2-filled Hubbard model showed that, although Mott transition can be properly described, superconductivity is hardly reproduced. Motivated by this, we have studied the basic model for this material based on molecular orbitals, namely, the 1/4-filled extended Hubbard model, using variational Monte-Carlo method. Our results show that superconductivity is not stabilized along the Mott transition line, but becomes stable when the effect of inter-site Coulomb repulsion is important and charge fluctuation is large.

15. Density matrix embedding theory for phase transitions in spinless fermions models (Plat)

Density matrix embedding theory (DMET) is a numerical scheme recently proposed to obtain the bulk physical observables quantities of the quantum many body systems, by mapping the original Hamiltonian to an impurity model using a Schmidt decomposition. The accuracy and relevance of DMET was so far only investigated through calculations of energy and local correlations in model already well known. In our work, we test the structure of the wave function itself by examining the entanglement spectrum in spinless fermion models. We show that it locates very precisely the quantum phase transitions. The effect of the finite size cluster is also found to be very small, therefore DMET proves it can be a useful tool to study phase transitions when varying model parameters.

16. Anomalous Hall effect of magnons (R. Takahashi)

Recently, researches on the anomalous Hall effect of the magnon have been intensively done. In this study, we have studied the anomalous Hall effect by the hybridization between the magnon and phonons. Conventionally, the magnon-phonon interaction comes from the spin-orbit interaction by the magnetoelasticity. In this study, we have investigated the dipole-dipole interaction for magnon-phonon coupling. Then, we have shown the contribution of the dipole-dipole interaction for the magnon-phonon hybridization. We have found that the anomalous velocity appears even for a simple ferromagnets due to the presence of the dipole-dipole interaction.

17. Landau-Zener tunneling for Bloch states (R. Takahashi)

The Landau-Zener problem gives a simple description for tunneling phenomena of two-state systems. The tunneling probability is given by the Landau-Zener formula, and this formula is widely used in various quantum systems, in addition to condensed matter physics. We have investigated the Landau-Zener problem for quantum particles in Bloch states. We have shown that the tunneling probability in lattice systems becomes drastically larger than that by the Landau-Zener formula, and have found that the lattice effect on the Landau-Zener problem cannot

be neglected for the small velocity or small force.

18. A solvable model for soliton dynamics in density-modulated quantum condensates (D. Takahashi)

We have proposed a solvable model for the soliton dynamics in the density-modulated quantum condensates such as supersolids and Fulde-Ferrell-Larkin-Ovchinnikov superfluids based on the method of the classical integrable systems. Solving the inverse scattering problem on the genus $g=1$ Riemann surface, we have provided the multi-soliton solutions expressed by theta functions, and revealed their propagation dynamics interacting with the inhomogeneous background. Furthermore, they have been classified by their shapes, behaviors, and the order of the background condensates, including the dark-soliton billiards, static dislocations, gray solitons, and envelope solitons.

Principal Investigator

古崎 昭 Akira Furusaki

Research Staff

桃井 勉 Tsutomu Momoi

小野田 繁樹 Shigeki Onoda

妹尾 仁嗣 Hitoshi Seo

Owen Benton

Troels Bojesen

古谷 峻介 Shunsuke Furuya

紙屋 佳知 Yoshitomo Kamiya

中河西 翔 Sho Nakosai

Xavier Plat

高橋 大介 Daisuke Takahashi

高橋 隆志 Ryuji Takahashi

Assistant and Part-timer

網代 雅代 Masayo Ajiro

Visiting Members

古川 俊輔 Shunsuke Furukawa

引原 俊哉 Toshiya Hikihara

伊豆山 健夫 Takeo Izuyama

加藤 康之 Yasuyuki Kato

久保 健 Kenn Kubo

森本 高裕 Takahiro Morimoto

求 幸年 Yukitoshi Motome

二宮 正夫 Masao Ninomiya

野村 健太郎 Kentaro Nomura

笠 真生 Shinsei Ryu

進藤 龍一 Ryuichi Shindou

堤 康雅 Yasumasa Tsutsumi

Konstantin Matveev

Christopher Mudry

Nicholas Shannon

Philippe Sindzingre