物性研究所セミナー

標題：磁化率考
日時：2022 年 4 月 22 日(金)　午前 11 時～午後 0 時
場所：オンライン(Zoom)
講師：堀田 知佐 准教授
所属：東京大学院総合文化研究科
要旨：

一様磁化率は実験と理論とで直接比較できる基本的な物理量であるにもかかわらず、物質あるいはモデルの個性が、その温度依存性に際立った特徴として見えづらい地味な物理量でもあり、輸送係数などと比べてハイライトされにくい宿命を持つ。磁化率からいろいろな情報を取り出そうとすると、何らかの理論的なバックボーンが必要となるのだが、磁化率の個性が最も出やすい低温領域では、理論の数値計算は多くの場合、有限サイズ効果によって破綻する。

このような状況で、これまで私が研究で扱ってきた 1 次元および 2 次元量子スピン系の磁化率から読み取れる物理～磁場中の朝永ラッティンジャー液体[1,2]、2 次元フラストレート系とノンフラストレート系の違い[3]、変則的な磁化率[4]、自発的次元性低下[5]などの話題をかいつまんでご紹介し、周辺の磁化率計算の理論研究をレビューしながら、磁化率から何がどこまでわかるのかについての持論を述べたい。

[1] Yoshitaka Maeda, Chisa Hotta, and Masaki Oshikawa, Phys. Rev. Lett. 99, 057205 (2007).
[2] Y. Kono, T. Sakakibara, C.P. Aoyama, C. Hotta, M.M. Turnbull, C.P. Landee, and Y. Takano, Phys. Rev. Lett. 114 037202 (2015).
[3] Chisa Hotta and Kenichi Asano, Phys. Rev. B 98 140405(R) (2018).
[4] Minoru Yamashita, et al. npj Quantum Materials 6, 87 (2021).
[5] Ryo Makuta and Chisa Hotta, Phys. Rev. B 104, 224415 (2021).

標題：フロケ理論による光誘起物性現象へのアプローチ
日時：2022 年 4 月 28 日(木)　午後 12 時 15 分～午後 1 時 15 分
場所：オンライン(Zoom)
講師：池田 達彦
所属：物性理論研究部門 常次研 助教
要旨：

近年のレーザーの高強度化により、固体における非線形かつ非摂動論的な光学現象の研究が進展している。微視的には、このような現象は強いレーザー電場で駆動された電子の運動に起因しており、摂動論を超えて電子の運動を解析する必要性が高まっている。このような方法の 1 つがフロケ（Floquet）理論[1]であり、レーザー電場の時間的に周期的に振動する特徴を用いて電子の運動（フロケ状態）を系統的に解析する方法を与える。

本発表ではフロケ理論を概説し、この理論に立脚してフロケ・エンジニアリング[2]や高次高調波発生などの非線形光学効果が統一的に把握できることを議論する。実際の実験においては強いレーザーはパルスで実現し、それゆえフロケ理論の仮定する時間周期性は近似的にしか成り立たない。しかしこのような状況下においてもフロケ状態は、瞬時的な状態基底として用いることでダイナミクスの理解に役立つ[3]。最後にこのようなフロケ状態の形成とダイナミクスを示唆する最新の実験[4]を紹介する。

[1] G. Floquet, Annales de l'École Normale Supérieure 12, 47 (1883).
[2] T. Oka and S. Kitamura, Ann. Phys. Cond. Mat. 10, 387 (2019).
[3] T. N. Ikeda, S. Tanaka, Y. Kayanuma, arXiv:2202.04973 (2022).
[4] K. Uchida et al. arXiv:2202.13315 (2022).

標題：Probing the Vicinity of Deconfined Quantum Critical Point with Quantum Monte Carlo
日時：2022 年 4 月 28 日(木)　午前 10 時～午前 11 時
場所：Zoom **開催**
講師：高橋 惇
所属：ニューメキシコ大学
要旨：

Deconfined quantum criticality (DQC) is a beyond-Landau paradigm quantum phase transition predicted to occur in a 2d quantum magnet between a Neel phase and a valence bond solid (VBS) phase. Although the two phases are not related in the traditional symmetry-breaking perspective, field theory predicts that at the DQC transition point the order of the phases fractionalizes and creates an emergent gauge field, letting the Neel-VBS transition generically continuous.

By constructing concrete models that could be simulated to a large scale with quantum Monte Carlo methods, we numerically study the Neel-VBS transition and find that there is an emergent higher symmetry at the first-order transition point up to a very large system size. We also find that there are a number of new perturbations to the DQC point that were previously overlooked, and show that they lead to a different phase diagram, possibly resolving the previously observed discrepancy between theoretical conformal bootstrap calculation and numerical studies.

標題：極限表面科学：原子層の「物理」と「化学」
日時：2022 年 4 月 28 日(木)　午前 10 時～午前 11 時 30 分
場所：Online
講師：松田 巌
所属：物性研究所・極限コヒーレント光科学研究センター
要旨：Less is different.

3 次元バルク結晶のホウ素は歴史的に絶縁体しか知られていませんでしたが、我々は 2 次元にすることで金属相になることを発見しました。このように物体を小さく、そして次元を下げていくと新しい物質が生まれ、新奇な物理及び化学現象も発現します。そして我々はさらに原子層の表と裏を化学修飾して物質の物理特性を制御する極限表面科学（extreme surface science）を展開することで、ディラックコーンやディラックノーダル半金属などのディラック物性を示す珍しい 2 次元ホウ素マテリアルを合成してきました。これら研究成果の背景には物質評価（みる）を中心とした理論研究（しる）と物質合成（つくる）の完璧な連携がありました。現在、その連携の次世代型としてプロセスインフォマティクスに基づくユーザー利用実験システムの建設を行なっています。

当日はこれまでの原子層・表面科学の研究を解説しながら、我々の新たな取り組みについて紹介いたします。

標題：Breakthrough in the study of frustrated ferro-antiferromagnets A2Cu2Mo3O12 (A = Rb, Cs)
日時：2022 年 5 月 17 日(火)　午前 11 時～午後 0 時
場所：Zoom 開催
講師：林田 翔平
所属：スイス連邦工科大学チューリッヒ校
要旨：

Linear-chain molybdate A2Cu2Mo3O12 (A = Rb, Cs) is one of the most intriguing linear frustrated ferro-antiferromagnets [1]. For over a decade extensive experimental and theoretical work focused on the unique magnetoelectric effect in Rb2Cu2Mo3O12 [2], and on spin-nematic Tomonaga-Luttinger liquid behavior in Cs2Cu2Mo3O12 [3]. Unfortunately, a lack of single-crystal samples has hampered any further progress.

In this talk, I will present our recent thermodynamic study using single-crystal samples, which have been grown in our group. The single-crystal study of both materials revealed that their magnetic and dielectric properties are even more complex and intriguing than originally thought [4,5,6]. Our comprehensive thermodynamic measurements mapped out the highly anisotropic low-temperature magnetic phase diagram for both materials [4,6]. Dielectric experiments revealed the Rb system to be a quantum multiferroic and enabled the first direct excitation-response measurements of critical susceptibility at a magnetic BEC quantum critical point [5]. For the Cs system, a host of exotic field-induced phases was discovered, including a presaturation phase that is likely to be a spin-nematic phase [6].

References

[1] M. Hase et al., Phys. Rev. B 70, 10426 (2004); J. Appl. Phys. 97, 10B303 (2005).
[2] H. Ueda et al., Phys. Rev. B 101, 140408(R) (2020).
[3] Y. Hoshino et al., JPS Conf. Proc. 3, 014012 (2014).
[4] S. Hayashida et al., Phys. Rev. B 100, 134427 (2019).
[5] S. Hayashida et al., Phys. Rev. Research 3, 033053 (2021).
[6] D. Flavián, S. Hayashida et al., Phys. Rev. B 101, 22408 (2020).

標題：Non-Hermitian Topology in Quantum Physics
日時：2022 年 5 月 17 日(火)　午前 10 時～午前 11 時
場所：On Zoom
講師：Kohei Kawabata
所属：Princeton University
要旨：

Non-Hermiticity enriches topological phases beyond the existing framework for Hermitian topological phases. Unique non-Hermitian topological phenomena have been observed in several classical experiments of mechanical metamaterials, electrical circuits, photonic lattices, and active particles. Recently, beyond the classical regime, signatures of non-Hermitian topology have been experimentally observed also in open quantum atomic and photonic systems. However, it has been unclear how to theoretically characterize non-Hermitian topological phases in quantum many-body systems. In this seminar, we formulate a many-body topological invariant intrinsic to non-Hermitian systems in one dimension [1]. We also discuss entanglement dynamics and phase transitions induced by non-Hermitian topology [2].

References:
[1] K. Kawabata, K. Shiozaki, and S. Ryu, Phys. Rev. B 105, 165137 (2022)
[2] K. Kawabata, T. Numasawa, and S. Ryu, in preparation.

標題：高分子材料の階層構造・ダイナミクス解析による力学物性発現メカニズムの解明
日時：2022 年 5 月 20 日(金)　午前 10 時～午前 11 時 30 分
場所：オンライン開催
講師：眞弓 皓一
所属：物性研究所・附属中性子科学研究施設
要旨：

高分子材料の内部では、複数の構成要素が互いに相互作用を及ぼし合って複雑な高次構造を形成しており、この階層構造が物性を支配している。本発表では、コントラスト変調中性子散乱法による多成分系ソフトマター材料の階層構造・ダイナミクス研究の展望を示すとともに、階層構造制御による新規材料開発の一例として、我々が最近開発した”引っ張ると頑丈になる高強度ゲル”の強靭化メカニズムについて紹介する [1]。

[1] C. Liu, N. Morimoto, L. Jiang, S. Kawahara, T. Noritomi, H. Yokoyama, K. Mayumi, K. Ito, Science 372, 1078-1081 (2021).

標題：「軟 X 線発光分光で見るフラーレン閉じ込め水分子の電子状態」「微細加工技術を用いた軟 X 線顕微分光イメージング手法の開発」
日時：2022 年 5 月 23 日(月)　午後 1 時～午後 3 時
場所：Zoom 開催
講師：木内 久雄、竹尾 陽子
所属：物性研究所　助教
要旨：

1. 木内 久雄（物性研究所　原田研究室　助教）

【題目】

軟 X 線発光分光で見るフラーレン閉じ込め水分子の電子状態

【概要】

水は生物の生命活動に必須なだけでなく、触媒や電池などの性能を決める重要な要素の一つである。水は異なる水素結合構造を持ったナノメートルオーダーの領域が混在する不均一な液体であることが X 線回折、小角散乱、軟 X 線発光分光の結果から提案され、特に水素結合を直接的に観測する軟 X 線発光分光の解釈をめぐって 15 年近く様々な議論がなされてきたが、最近、理論的にも軟 X 線発光分光でミクロな不均一モデルを支持するという重要な結果が報告された[1,2]。このように不均一な水素結合領域が共存するモデルを認めることによって、水そのものの機能や親水表面における水の結合と機能に関して、新たな議論が始まると期待されている。一方で、疎水表面における水は疎水性水和という形で相互作用が記述されるが、疎水表面と水の相互作用を直接可視化するのは難しい。そこで本研究では、分子手術法によってフラーレン C60 内に水分子を閉じ込めた系に軟 X 線発光分光を適用することによって、これを可視化することを試みた。本発表では、水分子の特異な電子状態から疎水場における相互作用について議論する。

[1] O. Takahashi, Y. Harada et al., Phys. Rev. Lett. 128, 086002 (2022).
[2] L.G.M. Pettersson and O. Takahashi, J. Non-Cryst. Solids: X 14, 100087 (2022).

2. 竹尾 陽子（物性研究所　木村研究室　助教）

【題目】

微細加工技術を用いた軟 X 線顕微分光イメージング手法の開発

【概要】

軟 X 線領域におけるサブミクロン顕微手法の多くは、光学素子にゾーンプレートを用いているために、長い計測時間とエネルギー変更の煩雑さを伴う。近年実用化した高精度筒形ミラーによって、色収差なし、高いビーム利用効率、ナノメートル分解能を兼ね備えた集光及び結像が実現し、軟 X 線光学系の自由度が向上しつつある。その一つが、本研究で開発中のナノ構造回折格子を用いた顕微分光イメージングである。非単色光でサンプルを照明し、透過後のビームを分光することで、吸収スペクトルの分布を二次元的かつ瞬間的に取得できる。本発表では、光学系の設計、作製、X 線自由電子レーザー及び放射光を用いたイメージング実験結果について報告する。

標題：強磁場と極低温による静的核偏極標的を使った素粒子原子核研究

日時：2022 年 5 月 27 日(金)　午前 11 時～午後 0 時

場所：Zoom 開催

講師：郡 英輝 特任准教授

所属：大阪大学 核物理研究センター

要旨：

私達は SPring-8 において、数 GeV エネルギーの偏極フォトンのビームを使用して素粒子原子核実験の研究を行っています。様々な中間子や重粒子が生成されるのが魅力であり、粒子生成のメカニズム や粒子の構造を調べるためには、生成断面積だけではなく偏極観測量が重要な役割を果たします。近年、世界からクォーク 4 個の粒子、5 個の粒子の証拠が報告されていて、エキゾチックな粒子に対する注目が高まっています[1,2]。私達も 5 個のクォークの粒子の候補を見つけていて[3,4]、偏極陽子標的を偏極ビームと共に使用して、この粒子の構造を解明したいと考えています。偏極陽子標的を製作する方法には、静的核偏極法と動的核偏極法があります。私達は極低温(約 10 mK)と強磁場(約 17 T)を使って、静的核偏極法により水素と重水素が分子を形成する HD という固体を偏極させる方法を選んできました。最近では時間と人手の節約にために、低温(約 1 K)と磁場(2.5 T, 5.0 T)で電子を偏極させてマイクロ波により陽子の核偏極へ移行させる動的核偏極法にも魅力を感じています。 本セミナーでは、低温強磁場技術が素粒子原子核研究にどのように利用されているかを説明します。

[1] H.X. Chen et al. Physics Report 639 (2016) 1

[2] R. Aaij et al. Physical Review Letters 122 (2019) 222001

[3] T. Mibe et al. Physical Review Letters 95 (2005) 182001

[4] H. Kohri et al. Physical Review Letters 104 (2010) 172001

標題：金属スピンアイス Pr2Ir2O7 におけるフォノンによる熱ホール効果
日時：2022 年 6 月 8 日(水)　午後 3 時～午後 4 時
場所：ZOOM 開催
講師：町田 洋
所属：学習院大学
要旨：

温度勾配によって駆動された熱キャリアの軌道が磁場下で曲げられることにより、熱流と磁場に共に垂直な方向に温度差が生じる現象を熱ホール効果と呼ぶ。

近年、熱ホール効果はスピン液体物質を中心に新奇なスピン励起の存在を探る有効なプローブとして注目されている[1,2]。一方で、熱ホール効果には電荷キャリアやスピン励起だけでなくフォノンも寄与することが最近様々な絶縁体物質で見出されつつあり、我々の熱ホール効果についての理解は日々更新を迫られている状況にある[3,4]。

本セミナーでは、金属スピンアイス物質 Pr2Ir2O7 の熱輸送に関する研究を紹介し、同物質では局在スピンによる共鳴フォノン散乱が熱流に平行な縦熱伝導における主要な熱抵抗の起源であるだけでなく、共鳴散乱を通してフォノンが熱流に対して非対称に散乱されることで熱ホール効果にも寄与している可能性を議論する[5]。

[1] M. Hirschberger et al., Science 348, 106 (2015).
[2] Y. Kasahara et al., Nature 559, 227 (2018).
[3] K. Sugii et al., Phys. Rev. Lett. 118, 145902 (2017).
[4] X. Li et al., Phys. Rev. Lett. 124, 105901 (2020).
[5] T. Uehara, T. Ohtsuki, M. Udagawa, S. Nakatsuji, and Y. Machida, arXiv:2202.12149.

標題：ISSP & Kavli IPMU Joint Seminar : Anomalies in (2+1)D symmetry-enriched topological phases
日時：2022 年 6 月 8 日(水)　午後 1 時～午後 2 時
場所：Zoom および第一会議室(A636), ISSP（Hybrid)
講師：Daniel Bulmash
所属：University of Maryland
要旨：

Topological phases of matter, like fractional quantum Hall systems, can host anyon excitations with fractional electric charge. More generally, when topological phases with anyons have global symmetries, the anyons can carry fractional quantum numbers under those symmetries. Remarkably, some choices of fractional quantum numbers are anomalous, that is, they are physically allowed to exist, but only when the (2+1)D system lives on the surface of a bulk (3+1)D symmetry-protected topological phase like a topological insulator. Given abstract algebraic data specifying these quantum numbers, I will explain how to determine whether the resulting (2+1)D theory is anomalous and, if so, how to describe the required bulk theory.