

強相関電子系における多体効果

岡山大学 異分野基礎科学研究所

大槻純也



自己紹介

大槻 純也 (OTSUKI Junya)

所属 : [岡山大学 異分野基礎科学研究所](#) 超伝導・機能材料研究コア 超伝導物性評価研究分野

Jeschke-Otsukiグループの構成員は[こちら](#)

教育担当 : 岡山大学 [理学部物理学科](#) / 大学院自然科学研究科

博士前期課程 : 数理物理科学専攻 物理科学講座 (教育研究分野:量子多体物理学)

博士後期課程 : 学際基礎科学専攻 学際基礎科学講座 (教育研究分野:量子多体物理学)

学位 : 博士 (理学) (東北大学) 2008年3月

専門分野 : 強相関電子系の理論 (特にf 電子系)

eメール : [j.otsuki\(at\)okayama-u.ac.jp](mailto:j.otsuki(at)okayama-u.ac.jp)

居室 : 津島キャンパス 理学部本館B242号室

[キャンパスマップ](#) (N20棟内の南側), [アクセス](#)

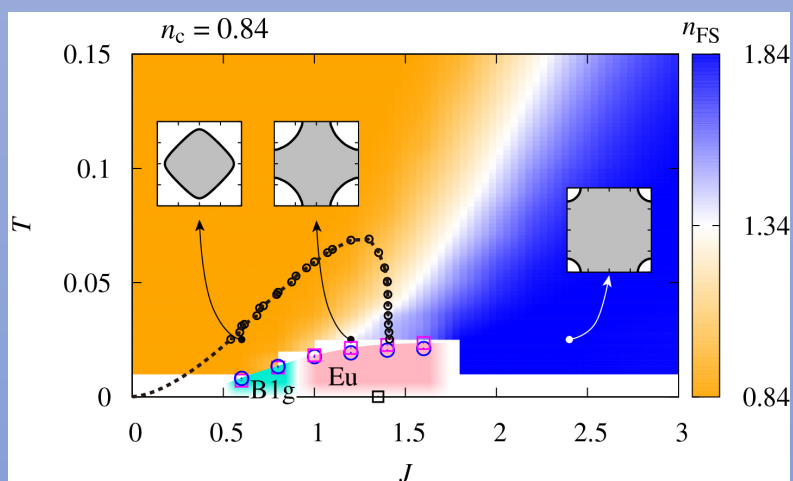
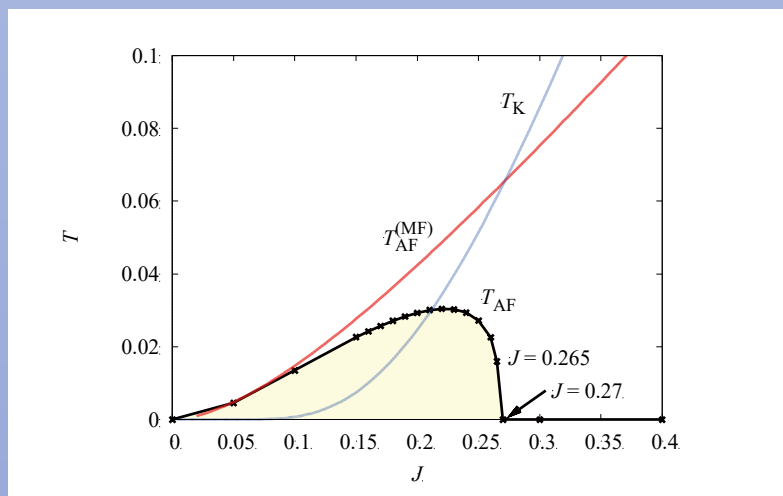
出身 : 東京都八王子市



<http://www.physics.okayama-u.ac.jp/~otsuki/>

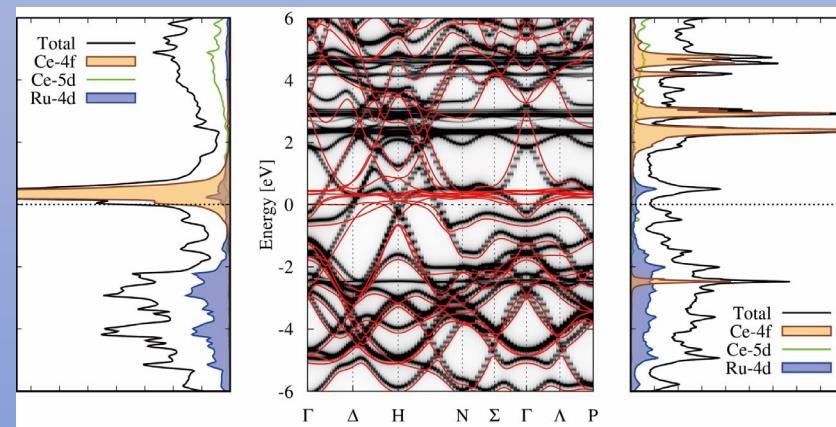
研究テーマ

重い電子系



動的平均場理論に関連した手法開発

DCore

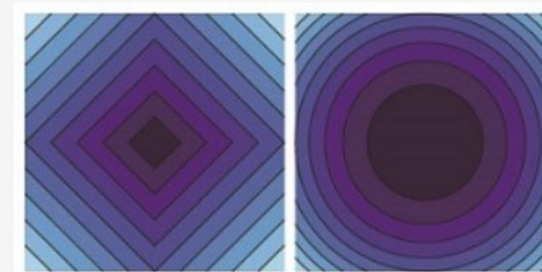


スパースモデリング

INVITED REVIEW PAPERS

NEW Sparse Modeling in Quantum Many-Body Problems

Junya Otsuki, Masayuki Ohzeki, Hiroshi Shinaoka, and Kazuyoshi Yoshimi [89, 012001 (2020)]



授業の概要と授業計画

テーマ：

「強相関電子系における多体効果」

目的：

強相関電子系における磁性や超伝導の発現には、電子間のクーロン斥力に起因する「量子多体効果」が重要な役割を果たしている。特に、電子相関による局在状態は、磁性（多極子秩序も含む）を理解する上で欠かせない。本講義では、量子多体効果の基礎から始め、電子の局在状態、重い電子状態、動的平均場近似などを概観する。それらの基礎を元に、授業の後半では、実際の強相関化合物の物性について議論する。

授業計画：

1. 電子相関による局在状態と磁気モーメントの発生
2. 強相関化合物の有効模型と平均場近似
3. 強相関電子系の金属状態～フェルミ液体
4. 動的平均場理論の基礎
5. 重い電子系における遍歴と局在
6. Pr化合物における四極子近藤効果 (1)
7. Pr化合物における四極子近藤効果 (2)

シラバスから少し修正しました

目的 (もう少しおおざっぱな)

強相関係の物理はとても難しい。磁性と超伝導が相関していたり、磁性といってもスピンだけでなく軌道の自由度も絡み合っていたり。電気と磁気の自由度が相関していたり。

強相関係でこんなにも様々な現象が起こるのは、電子の遍歴性と局在性の二面性に因ると思う。あるときは局在磁性になったり、またある時は超伝導になったり。この講義では電子の遍歴と局在について考え、強相関現象の背後にある電子状態を理解したい。強相関化合物中の電子について自分なりのイメージを持ってほしい。

テキスト

J-Physics夏の学校 (2016)

《講義ノート》

物性研究・電子版 Vol. 6, No. 1, 061205 (2016年11月・2017年2月合併号)

多体効果の最前線

東北大学大学院 理学研究科 大槻純也

1 はじめに

世話人の方から、「動的平均場理論をも取り上げながら『多体効果の最前線』」というお題をいただいた。この講義ノートでは私の知識の及ぶ範囲で「最前線」の理論について解説したいと思う。多体効果の理論はどうしても数式が多く技術的な話が中心になりがちであるが、本稿では理論が必要となる背景や物理的なアイデアを中心に解説するように努めた。ただし、単なるお話に留まることを避けるため、一部の理論に関しては導出を付録にまとめた。なるべく省略せずに書いたので、詳細が知りたい読者は参考にしてほしい。

ちなみに私は 2009 年に開催された重い電子系若手秋の学校でも講師を担当した。その時の題目は「重い電子系の近藤効果と磁気秩序」で、テキストも残っている [1]。本稿はそのテキストとなるべく重複のないようにしている。特に、強相関電子系を理解する上で必要不可欠な近藤効果についてはここでは解説しない。これについては上述のテキストとそこで引用されている文献を参考にしてほしい。

本稿は以下のように構成される。次の節ではまず、なぜ多体効果を考慮する必要があるのかを私なりの視点から述べてみたい。多体効果の（数値）計算は込み入ったものが多いが、そこまでして難解な計算に取り組むことの動機付けを行う。第 3 節では、強相関模型を平均場近似や極限によって理解できるところまでを解説し、多体効果の必要性を再確認する。そこまで準備が整ったら、いよいよ多体効果を扱う理論に進む。第 4 節で、強相関系において重要となる動的な局所相関効果を扱うための動的平均場理論について述べる。数値計算を用いた計算例についても紹介する。次に、動的平均場理論とは対極にある空間揺らぎを扱う理論を第 5 節で紹介する。これは主に超伝導を目的とした理論である。第 6 節で、動的平均場理論と空間揺らぎを統合する最近の理論について解説する。そこで紹介する理論は発展途上であり、解決すべき課題が多く残っている。それについて第 7 節で議論し、まとめとする。

重い電子系夏の学校 (2009)

重い電子系の近藤効果と磁気秩序

東北大学大学院理学研究科 大槻純也*1

1 序論

重い電子系は「局在」と「遍歴」という 2 つの言葉で象徴される。 $4f$ 電子間に働く強いクーロン斥力 U のために、 $4f$ 電子は高温では局在的な性質を持ち、局在スピンとして振舞う。ところが、低温になると $4f$ 電子は遍歴的性質へと移り変わり、 $U = 0$ の多体相互作用のない状態と定性的には同じ振る舞いをする。そして低温・低エネルギーの性質は、Landau の Fermi 液体論によって、Fermi 統計に従う準粒子に弱い相互作用を導入することにより記述される*2。

重い電子とは、一言で言うと、Fermi 液体論に従うエネルギースケールの小さい準粒子のことである。ここで、小さいエネルギーとは $1 \sim 100\text{K}$ のオーダーであり、これは金属中の電子ガスの Fermi エネルギー $\epsilon_F = 10^4 \sim 10^5\text{K}$ に比べてはるかに小さい。このような小さいエネルギースケールが現れる起源は、磁性不純物における近藤効果によって理解される。近藤効果とは、高温の自由な局在スピンと低温の局所的な Fermi 液体の間の移り変わりを意味する。そしてその特徴的エネルギーは相互作用 U が大きいほど小さくなる。

上記のように、重い電子状態の出現には近藤効果が本質的である。本稿ではまず、重い電子の理解に不可欠である近藤効果を解説し、その後で、周期系の重い電子状態へと進む。近藤効果や Fermi 液体論については、教科書が数多く出版されているので*3、適宜それらの参考文献を引用し、全てを詳しく記述することはしない。一方で近年、数値計算手法が急速に発展し、多体模型の物理量の計算が可能になってきた。そこで本稿では、数値計算等による具体的な結果を見ることにより、感覚をつかむことができるように心がけた。具体的なイメージがあれば、教科書の行間を埋める見通しも良くなると思う。

スライドの入手先

「強相関電子系における量子多体効果」

集中講義@神戸大学大学院理学研究科
2020年度12月16日～18日

講義目次

0. はじめに 
1. 電子相関による局在状態と磁気モーメントの発生 
2. 強相関化合物の有効模型と平均場近似 
3. 強相関電子系の金属状態～フェルミ液体 
4. 動的平均場理論の基礎 
5. 重い電子系における遍歴と局在 
6. Pr化合物における四極子近藤効果 
7. 未定 

資料

- 「多体効果の最前線」 
J-Physics若手夏の学校テキスト (2016 8/8-12)
[物性研究 電子版 Vol.6, No.1, 061205 \(2017\) \[30pages\],](#)
- 「重い電子系の近藤効果と磁気秩序」 
重い電子系若手秋の学校テキスト (2009 11/24-27) [33 pages],
- レポート課題 



<http://www.physics.okayama-u.ac.jp/~otsuki/lecture/kobe2020/>

または私の個人HPのトップから
「授業担当」→『【集中講義】「強相関電子系における量子多体効果」』

成績評価について

講義中に課題を複数出題します。その中から2つ解答してレポートとして提出してください。

提出方法：

✕切：