

研究会報告

研究会番号 YITP-W-08-05

研究会「不均一超伝導超流動状態と量子物理」報告

開催日時 2008年7月31日 - 2008年8月2日

開催場所 京都大学基礎物理学研究所 K206

参加者数 59名

研究会の目的

空間的に不均一さを持つ系における超流動体・超伝導体が示す物理現象には極めて興味深いものがある。この研究会では、凝縮系物理学の基本である超伝導・超流動現象における現在の研究動向を把握したうえで新たな方向性を模索し、さらに未踏量子領域における研究課題の探索を目指すことを目的とした。また、異分野の研究者間の交流を図り新奇な超伝導・超流動状態に関する知見を広げるとともに、メゾスコピック超伝導、強相関電子系、ヘリウム3、アルカリ原子気体、凝縮系の場の理論(数理論理学)の専門家が交流して、活発な議論をすることも目的とした。

研究会の内容

研究会ではBCS超伝導体や異方的超伝導体(超流動)を対象とし、具体的には

- 1 超伝導接合の物理
- 2 磁束芯
- 3 FFLO状態
- 4 新奇な超伝導秩序発現機構の理論
- 5 不均一超流動ヘリウム3
- 6 エッジ状態とその数学的構造
- 7 空間反転対称性の破れた系
- 8 アルカリ原子気体

といった問題をとりあげた。

研究会の発表は33件の口頭発表から構成された。また参加者は当日登録の方もかなりの数にのぼり、59名となった。

研究会では初日に超伝導接合に関する発表が行われた。高柳氏からは、近接効果の基礎となる講演がなされて、ジョセフソン効果のような物理に現れる近接効果と、電流電圧特性に現れる近接効果とは本質的に異なることが紹介された。数多くの重要な実験の現状が紹介され、コヒーレント電子-ホール対を記述する異常 Green 関数の重要性が強調された。続く講演では、量子ドットを介することで、 π 接合と呼ばれる特異なジョセフソン結合が現れることが紹介された。超伝導体の中の近藤効果という観点から重要である。

午後の後半の講演では、三宅氏から通常現れない変わった電子の対の紹介がされた。価数揺らぎが引き起こす特異な超伝導発現機構、奇周波数電子対、カルテット（4個の対）といった話題が紹介された。奇周波数電子対がバルクの系で実現されるかに関しては最終日に別の発表で短いコメントがおこなわれた。引き続いて対称性の破れた系の超伝導の発表が行われた。まず空間反転対称性の破れた超伝導体の実験の現状が紹介され、ついで理論が発表された。偶パリティと奇パリティの対称性の混合、あるいは分数磁束といった話題が紹介された。次に磁場下で実現される超伝導秩序が重心運動量を持つ FFLO 状態が紹介された。FFLO 状態を理解する上で、スピンのゼーマン分裂だけでなく磁束（軌道運動の効果）の重要性も強調された。また擬一次元超伝導体の関連した実験、超伝導体などが紹介された。

2日目午前中はナノスケール超伝導系の様々な話題が紹介された。2次元ディラック電子系として注目が集まっているグラフェンと超伝導体の接合に関して理論実験面から紹介があった。ディラック電子であるために期待される特異なアンドレーエフ反射が紹介された。続いてナノ構造に加工した超伝導系における理論実験研究の現状の紹介があった。特に、通常の超伝導体では実現されない巨大磁束は注目を集めた。これはトポロジーの観点から見て普通の磁束と全く異なるので興味ある系である。また電磁波の発振現象、電荷不均一の緩和現象が紹介された。午後では、強磁性体に入った接合の研究の現状が紹介された。この系では、奇周波数電子対、FFLO 状態といった特異な量子状態が実現されるために、国際的に大変に注目が集まっている分野である。実験からは、逆近接効果、スピン軌道相互作用の重要性が指摘され該当する理論家に刺激になる内容であった。

さらに午後のセッションでは、超伝導体の磁束状態、アンドレーエフ束縛状態と Eilenberger 方程式の解の解析に関する明解な講演があった。また回転磁場下で比熱を測定する実験と超伝導のギャップ構造を決定する際には、従来の方法では定量的に不十分であるといった問題も指摘された。

続くセッションでは、異方的超伝導超流動の物理が紹介された。実験からは、スピン 3 重項超伝導のメゾスコピック接合とカイラリティに関する実験が紹介された。特に異方的超伝導体では、界面にアンドレーエフ束縛状態が形成される。アンドレーエフ束縛状態、超伝導接合における不均一性に起因したギャップレス状態が奇周波数電子対形成で記述できることが紹介された。次に、ヘリウム 3 においてもやはりアンドレーエフ束縛状態が磁化に影響し、とりわけエアロジェル中のヘリウムにおいては、この現象が面白くなるのが東谷氏、永井氏らによって紹介された。

また石川氏からは、エアロジェルの実験の現状が紹介され、奥田氏からは、アンドレーエフ束縛状態がヘリウム 3 で観測されたという実験が紹介された。アンドレーエフ束縛状態は、銅酸化物超伝導体の一つとする様々な超伝導体でこれまで見られてきたが、ヘリウム 3 においても観測されたということは、この概念の広がりという意味するもので重

要である。

最終日は、界面に存在する Edge 状態あるいはアンドレーエフ束縛状態形成と対称性に関する数学的議論が行われた。量子ホール効果あるいはスピン量子ホール効果の Edge 状態と超伝導体に存在する Edge 状態の関係が議論され、またアンドレーエフ束縛状態形成がワインディング数と Z_2 というトポロジカル量子数で特徴づけられるとの議論が行われた。

最後の新しい方向性として、アルカリ原子気体の研究の現状の紹介があった。坪田氏からは、多成分性が引き起こす不均一現象が紹介された。さらに、スピノール BEC の話題が紹介された。そこでは、QCD で実現されるノットと呼ばれる構造が実現することも紹介され、この分野の深さが改めて浮き彫りとなった。さらに p 波超流動系では、相互作用を変化することでトポロジカル転移が起こるとということが紹介され大変に興味深かった。

研究会を総括すると、不均一超流動状態を広く取り上げることができ、分野間の交流を図ることができたのが良かったと感じる。固体で実現される系（超伝導接合）、液体で実現される系（ヘリウム3）、気体で実現される系（アルカリ原子気体）の物理が同じ場所で議論されることは通常の物理学会では難しく、基礎物理学研究所でなければ困難ではないかと感じた。今後こうした Activity を維持して、できれば定期的に同種の会合を計画したいと考えている。

世話人

| | | |
|----|-------|----------|
| 代表 | 田仲由喜夫 | (名大工) |
| | 浅野泰寛 | (北大工) |
| | 永井克彦 | (広島大学総合) |
| | 三宅和正 | (阪大基礎工) |
| | 加藤雄介 | (東大総合文化) |
| | 遠山貴己 | (京大基研) |