

(文責 野村 晋太郎)

量子非破壊測定

東大教養 清水 明

量子力学において測定は必然的に系の状態に影響を与えてしまうが、通常はほとんど考えられていない非測定系の測定後の状態について、詳しく精密にお話し頂いた。特に、今回は標準的量子力学の範囲内に限って議論された。

量子非破壊測定 (Quantum Nondemolition Measurement, QND 測定) とは、「物理量 Q の E' における統計分布が、 E における統計分布と一致するような測定で、測定誤差が原理的にいくらでも小さくできるもの。」と定義される。この QND 測定はその条件のきつさに応じていくつかのレベルに分類される。ここで測定過程を被測定系 S とプローブ系 P とに分類し、 P の中のその先は全て理想測定であると見なせる境界が存在し、それよりも S よりの部分と S とを量子系と考え、理想測定を考察する。そうすると、測定の前後の P と S の状態に応じて QND 条件は三つに分類される。最も厳しい条件は、被測定系、プローブ系の状態に関わらず QND となる条件 (Strong QND condition) である。少し緩い条件はプローブ系をうまく選んでその条件下で QND となる条件 (Moderate QND condition) である。最も緩いのが被測定系にも条件を課してその範囲内で QND となる条件 (Weak QND condition) である。

最後に、この Weak QND condition を満たす検出器の一例として、量子細線中の電子の位相が照射した光によって変化することを利用した QND 光検出器が示された。このような系は電子と光の双方を量子化しなければ説明できない興味深い対象であり、今後の展開が期待されている。

(文責 野村 晋太郎)

講義後半

銅酸化物高温超伝導体と強相関電子系の物理

東大物性研 今田正俊

今田先生には、高温超伝導の話題を講義していただいた。まず、実験的な事実を話し、次に理論的な説明をした。

実験では、高温超伝導は 1986 年に発見されて以来、転移温度を上げる努力がなされる一方、様々な方法によって格子状態、電子状態が調べられてきた。その結果、超伝導相の近くに反強磁性相が現れること、理論的には理想的な状態にありフェルミエネルギー付近ではバンドがほとんど縮退しておらず 1 軌道で表せることなどが分かった。

理論的には、モデルとして古くから知られているハバードモデルを二次元正方格子上で解くことで高温超伝導体を近似できそうであるということを話した。ハバードモデルは

$$\mathcal{H} = -t \sum_{\sigma} \sum_{\langle i,j \rangle} (c_{i\sigma}^{\dagger} c_{j\sigma} + h.c.) + U \sum_i n_{i\uparrow} n_{i\downarrow} - \mu \sum_{i\sigma} n_{i\sigma}$$

によって表される。ここで、 U はオンサイトクーロン相互作用の強さを表しているパラメータである。まず、電子の数を half-filled に固定して $U \gg 1$ とすると、ハバードモデルの有効ハミルトニアンは反強磁性ハイゼンベルクモデルになる。この事実から、half-filled での高温超伝導体の反強磁性

相が説明できる。電子数を half-filled より少し減らした場合の有効ハミルトニアンとして次の t - J モデルがよく議論される。

$$\mathcal{H} = -t P_d \sum_{\langle ij \rangle} (c_{i\sigma}^\dagger c_{j\sigma} + h.c.) P_d + J \sum_{\langle ij \rangle} \mathbf{S}_i \cdot \mathbf{S}_j$$

しかし、ハバードモデル、 t - J モデルは強相関電子系であるために一般的には解けない。そこで、いくつかの近似理論について話した。本講義で取り上げたのは、RPA 近似、ハバード近似、グッツヴィラー近似、スレーヴ粒子近似である。

一方、最近発展の著しい計算機実験についても話した。正確にハミルトニアンを対角化しようとすると、10 ~ 20 サイトで計算できなくなる。そこで、もっと大きい系を扱えるように発展したのが量子シミュレーションである。ここでは補助場法によるシミュレーション、すなわち密度行列を Trotter 分解し、さらに Stratonovich-Hubbard 変換を導入して、補助場についての和をモンテカルロサンプリングに置き換えられる事によって計算する方法を紹介した。

これらの研究により、2次元の強相関系の振る舞いもかなり分かってきた。実験事実と良い一致を示す結果としては、たとえばハバードモデルのスピン相関を解析する事により half-filled のときに有限の U に対しても、反強磁性相が存在するであろうということ、しかしホールドーピングによって、大変小さな濃度で、その長距離秩序が消え、インコメンシュレートな短距離スピン相関が生じることなどが挙げられた。また、half-filled で電荷ギャップが存在し、それと関連してドーブした系の状態密度の発散が見られることから、光学伝導度のバンド端近傍での異常やドルーデ的なピークのドーピング量依存性との共通点が指摘された。

しかし、ハバードモデルや t - J モデルでは理解できそうもない現象もあり、これからの発展が待たれる所である。

(文責 津留崎 恭一)

クラスターの科学 - C_{60} ・フラーレンを中心に -

日本電気基礎研 斎藤 晋

クラスターは、既存の種々の科学の分野の境界領域にある新しい研究対象である。「クラスター」という言葉の科学的に厳密な定義はまだない。ただ、ある程度のコンセンサスは得られつつあり、2個以上 10^4 個程度の原子・分子の凝集系に対して一般に用いられている。以下では、稀ガス、金属、半導体の各クラスターについて簡単に解説する。

1 希ガス クラスター

キセノンクラスター Xe_N の質量スペクトルでは、 $N=13, 55$ 等にはっきりとしたピークが現れ、それらのクラスターが他と比べてでやすいことを示している。質量スペクトルの中の明瞭なピークを与える N は、しばしば「魔法数 (マジックナンバー)」と呼ばれ、そのクラスターの性質を理解する鍵となるものとして注目されてきた。 Xe_N で見られた魔法数は、 Ar_N でも観測されている。これらは、実は正 20 面体を作るのに必要な原子数であり、一般に希ガスクラスターは正 20 面体形の充填構造を取るものと考えられている。このことは、レナード・ジョーンズポテンシャルを用いた計算機実験からも支持されている。

2 金属 クラスター

希ガス同様、その固体相で配位数の多い結晶構造を取る金属元素のクラスターはどのような構造を取っているのだろうか。実は、その構造はまだよくわかっていないことが多い。ただ、アルカリ金