

まとめと将来展望

Summary and Future Prospects

○齊藤 志郎 (NTT 物性科学基礎研究所)

°Shiro Saito (NTT Basic Research Laboratories)

E-mail: saito.shiro@lab.ntt.co.jp

20 世紀初めから発展した、電子と電磁場の相互作用を記述する量子電磁力学は、水素原子のラムシフトや電子の異常磁気モーメントの説明に成功した。さらに 1963 年には、ジェインズとカミングスにより、最も単純化された二準位原子と単一モード電磁場の量子力学的相互作用を記述するモデルが提案された[1]。当時は、単一の電磁場モードを実現することは不可能と考えられていたが、後にマイクロ波領域の超伝導共振器とリドベルグ原子を用いてこのモデルが実証されることになる[2]。この研究領域は、共振器量子電磁力学と呼ばれている。この系では、共振器の Q 値を高め、寿命の長い原子準位を用いることで「強結合」状態を実現でき、原子と光子のコヒーレントな結合が可能となる。その結果、「量子非破壊測定」、「量子もつれの生成」、「量子状態のフィードバック」、「シュレディンガー猫状態」等、数々の興味深い実験がなされている。

一方、1999 年に、超伝導でできた微小な島(電子対箱)の電荷状態が量子二準位系として振る舞い、そのコヒーレント制御が実証されて以来[3]、超伝導人工原子の研究が急速に発展した。超伝導人工原子はマイクロ波領域のエネルギー準位間隔を有し、基板上への回路設計の自由度が高いため、コプレーナ導波路型の共振器[4]や集中定数回路で構成された LC 共振器[5]との「強結合」が観測されている。同様の研究が半導体量子ドットを用いても行われているが、この分野は、2 次元の回路要素が基本となるため、回路共振器量子電磁力学と呼ばれている。回路設計により原子と光子の結合強度を制御でき、ジェインズ・カミングスモデルが適応できないような強い結合、「超強結合」を実現できるのもこの系の特徴である[6]。

どちらの系も、基礎物理の観点から量子力学の実証実験がなされてきたが、近年、量子状態制御に基づく高感度センサーや、量子情報処理への応用が注目されている。本講演では、このような観点から、この分野のこれまでの研究を概観するとともに、将来の展望を述べる。

[1] E. T. Jaynes and F. W. Cummings, Proc. IEEE **51**, 89 (1963).

[2] J. M. Raimond, M. Brune, and S. Haroche, Rev. Mod. Phys. **73**, 565 (2001).

[3] Y. Nakamura, Y. A. Pashkin, and J. S. Tsai, Nature **398**, 786 (1999).

[4] A. Wallraff et al., Nature **431**, 162 (2004), A. Blais et al., Phys. Rev. A **69**, 062320 (2004).

[5] I. Chiorescu et al., Nature **431**, 159 (2004), J. Johansson et al., Phys. Rev. Lett. **96**, 127006 (2006)

[6] T. Niemczyk, et al., Nature Physics **6**, 772 (2010), P. Forn-Diaz, et al. Phys. Rev. Lett. **105**, 237001 (2010).