

## 超伝導量子ビットを用いた量子情報処理

Quantum information processing using  
superconducting qubits

ノリ フランコ (NORI FRANCO)

(独) 理化学研究所・創発物性科学研究センター  
量子凝縮物性研究グループ・グループディレクター



### 研究の概要:

量子情報処理における諸課題を、超伝導量子ビットに力点を置き研究を行った。また、こうした巨大原子と様々な自由度との相互作用についても精査した。具体的には、原子間、光子、機械共振器、共振器として働く伝送路に関してである。

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・原子・分子・量子エレクトロニクス

キーワード：超伝導量子ビット、ナノメカニカル共振器、電磁的共振器

### 1. 研究開始当初の背景

ジョセフソン接合からなる超伝導回路は巨視的量子コヒーレンスを発現し、人工原子として振る舞う。近年の進展により、こうした人工原子を使うことで、チップ上での原子物理や量子光学に関する実験が実装可能となった。

### 2. 研究の目的

人工原子としての超伝導量子ビットを研究し、チップ上での量子光学を行う。さらにはこれらを用いた量子情報処理の実装法を研究する。新たな理論的予言をすることに加え、人工原子の最良の結合方法に関する現在の実験への理解を深める。

### 3. 研究の方法

当該物理系の挙動のより詳細な理解につながるような、厳密計算および数値シミュレーションに基づくものである。

### 4. これまでの成果

これまで挙げた成果は、この急速に進展する研究分野において、様々な現象を予言するものであり、当該分野に大きなインパクトを与えてきた。ここでは、通常の原子物理や量子光学の類推にあたる現象を調べることに止

まらず、自然界に存在する原子では起こり得ない現象についても精査した。本研究成果は、この萌芽的な学際的研究分野において、多様な新しい研究の方向性を打ち出すものである。

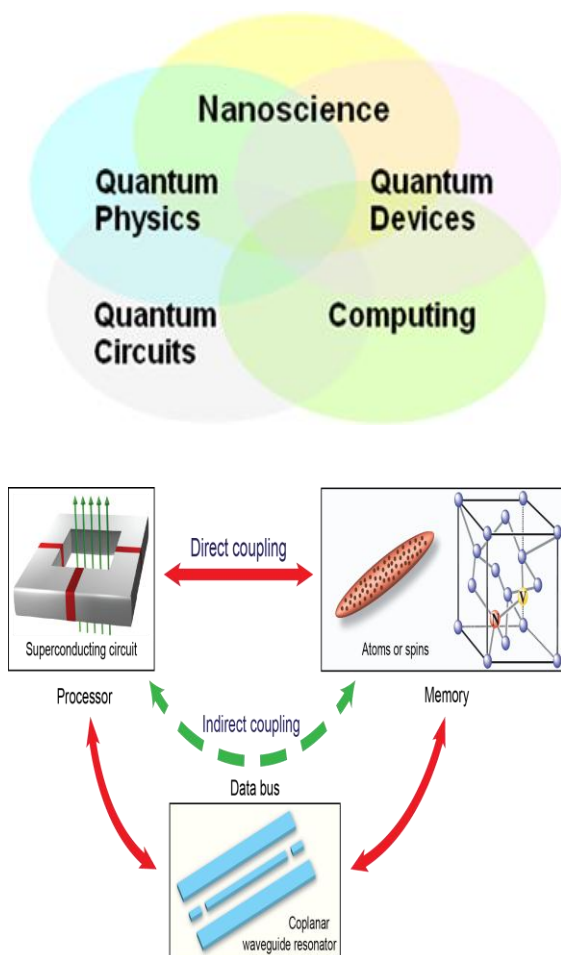
人工原子では、量子遷移の選択則が存在し得る。また、3準位原子からなる媒質中を通る光の伝播を制御することで、量子干渉が引き起こされる。こうした電磁誘導透過は本研究グループで研究されたものである。この効果の重要性は、様々な応用例からもわかる。例えば、電磁誘導透過を起こす媒質により、光の伝播を遅くする、さらには伝播そのものを止め、光の捕捉を可能にする。

巨視的超伝導回路により量子力学そのものの検証が可能となる。ここでは、力学的カシミール効果、すなわち真空ゆらぎによる光子の生成、に関する研究をした。本効果はまた、真空における非一様加速された単一の鏡によっても発生し得る。

コヒーレントなポピュレーション移動や高速断熱通過に関する研究も行った。この成果により、量子計算のための高い忠実度をもつ単一および2量子ビットゲートの興味深い実装方法が与えられる。キャビティを通した2個の定常的な量子ビット間における量子情報転送の研究も行っている。

制御可能な鏡と干渉計に関する研究成果も挙げている。超伝導量子ビットをコプラナー導波路と結合させることにより、超伝導回路はLSZ干渉計としてだけでなく、他の干渉計としても利用される（例として、ファノ干渉計あるいはファブリ・ペロット干渉計）。導波路に注入された光子は、量子ビットと相互作用する。よって、量子ビットに印可する電磁場を制御することで、導波路を進む光子もまたコントロールされる。こうした、制御可能な鏡として振る舞う人工原子により、光子の反射および透過係数が制御される。

理論的な研究成果のいくつかは実験と驚異的によく一致する。そして、それらは他の固体素子量子ビットへ拡張可能である。固体物理における量子コヒーレンスに関する基本的な研究に加え、こうしたデバイスやテクニックは、量子情報科学や量子情報技術のための量子ビット制御や状態生成の手法を進展させるものと期待される。



## 5. 今後の計画

引き続き、上記物理系に対する厳密計算および数値シミュレーションを実施する。そして、

物理系の挙動のより良い理解につなげる。

## 6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

2013年4月9日  
平成25年度 文部科学大臣表彰 科学技術賞 (研究部門)  
「ナノ領域における物理現象の理論的研究」

2011: Elected as Outstanding Referee of the American Physical Society (APS).

J.Q. You, F. Nori, *Atomic physics and quantum optics using superconducting circuits*, Nature **474**, 589 (2011).

C.M. Wilson, G. Johansson, A. Pourkabirian, J.R. Johansson, T. Duty, F. Nori, P. Delsing, *Observation of the dynamical Casimir effect in a superconducting circuit*, Nature **479**, 376-379 (2011). Featured in a Nature "News & Views". Physics World top five Physics breakthroughs of the year 2011. According to Nature, coverage of our work on Nature News was "The most read news story of 2011".

A.G. Kofman, S. Ashhab, F. Nori, *Non-perturbative theory of weak pre- and post-selected measurements*, Physics Reports **520**, 43-133 (2012). (about 20 pages review plus 70 pages of original work)

P.D. Nation, J.R. Johansson, M.P. Blencowe, F. Nori. *Colloquium: Stimulating uncertainty: Amplifying the quantum vacuum with superconducting circuits*, Rev. Mod. Phys. **84**, 1-24 (2012). (an original way to link various important problems on the physics of the quantum vacuum)

Z.-L. Xiang, S. Ashhab, J.Q. You, F. Nori *Hybrid quantum circuits: Superconducting circuits interacting with other quantum systems*, Rev. Mod. Phys. **85**, 623 (2013).

ホームページ等

<http://dml.riken.jp/publications.php>

<http://dml.riken.jp/outreach.php>