非ガウス型量子状態の生成について

和久井 健太郎[†]

(独)情報通信研究機構 光波量子・ミリ波ICTグループ (〒184-8795 東京都小金井市貫井北町4-2-1)

Generation of Non-Gaussian Quantum State of Light

Kentaro WAKUI[†]

Advanced Communications Technology Group, National Institute of Information and Communications Technology (NICT),
4-2-1 Nukui-kitamachi, Koganei, Tokyo 184-8795

(Received February 22, 2008)

We present generation of photon-subtracted squeezed state at 860 nm, from continuous-wave squeezed vacuum generated with a periodically-poled KTiOPO₄ crystal as a nonlinear medium of a subthreshold optical parametric oscillator. We observe various kinds of photon-subtracted squeezed states, including “non-Gaussian” states similar to the *single-photon state* and *superposition states of coherent states*, simply by changing the pump power. Nonclassicality of the generated states clearly emerges as its negative region around the origin of the phase-space distributions, *i.e.*, the Wigner functions. We obtain the value, -0.083 at the origin of the Wigner function, which is largest ever observed without any correction for experimental imperfections.

Key Words: Quantum optics, Quantum information, Squeezed state, Schrödinger cat state

1. はじめに

光を用いた量子情報処理は、二つの領域に大別することが可能である。その一つは、qubitを初めとする離散変数が情報処理の担い手となった、離散量量子情報処理である。ここでは光子の持つエネルギーの離散性が有効活用されており、現在の光量子情報処理の主流となっている。離散量量子情報処理については、次号の小特集で系統的な解説がなされる予定なので、そちらもぜひ参照されたい。そして、もう一つが連続量量子情報処理である¹⁾。連続量量子情報処理では、光の直交位相成分と呼ばれる連続変数に情報を符号化するため、光の波動性を積極的に生かした領域であるといえる。

上記二つの領域における研究は、同じ光という媒体を用いていながら、離散変数と連続変数という異なる基底を情報処理に用いているという本質的な違いがある点や、最適化されてきた実験技術の相違のために、これまで相互に乗り入れられることは乏しかった。ところが世紀の境目を皮切りに、これらの技術を同時に制御しようとする試みが急速に広まってきている。

1.1 光波制御

まず連続量を用いた場合の量子情報処理の概要について述べる。連続量における情報処理では、光の直交位相と呼ばれる連続変数が情報処理の基底として用いられる。光の直交位相は、量子化された電磁場のsin成分、cos成分であり、これらは調和振動子の量子化にちなんで X 、 P などと書かれる。この連続量の量子情報処理で重要な役割を果たすのが、コヒーレント状態ならびに直交位相成分スクィーズド状態(以下、単に「スクィーズド状態」と呼ぶ)である²⁾。

コヒーレント状態は良く定義された位相を持つ。このため、コヒーレント状態は数ある光の量子状態のうちで最も古典に近く、連続的に発振したレーザー光(を十分弱めた場合)の量子状態を表すのに用いられている。ただし、最も古典に近いとはいえ、コヒーレント状態は最小不確定状態であり、量子揺らぎ成分という量子性を持つ。また、特に連続量の分野において量子もつれを生成するために積極的に活用されているのが、スクィーズド状態と呼ばれる非古典状態である。スクィーズド状態も最小不確定状態であるが、2次の非線形ハミルトニアンによって、特定の直交位相成分においては量子揺らぎ成分までもが圧搾されている。このようなスクィーズド光は、しきい値以下で駆動さ

[†]現所属：(株)富士通研究所 ナノテクノロジー研究センター (〒243-0197 神奈川県厚木市森の里若宮10-1)

[†]Present affiliation: FUJITSU LABORATORIES LTD., 10-1 Morinosato-wakamiya, Atsugi, Kanagawa 243-0197

れた光パラメトリック発振器(Optical parametric oscillator: OPO)を用いて生成することができる。特にパルス光では、パラメトリック増幅器(Optical parametric amplifier: OPA)がスクィーザーとして用いられる。

ここで連続量の実験で用いられている技術について述べておきたい。コヒーレント光やスクィーズド光のように位相の良く定義された状態を検出するためには、エネルギーの測定のみでは不十分である。そこで、連続変数である直交位相成分の測定には、ホモダイン測定と呼ばれる手法が用いられる。ホモダイン測定は干渉測定であり、微弱な信号光と非常に強い強度の局発光(Local oscillator: LO)を分岐比が50:50のビームスプリッタで干渉させ、各々の出力光を量子効率を平衡させたフォトダイオードを用いて検出する。ホモダイン測定の量子力学的解釈によれば、各々のフォトダイオードからの光電流の差は、純粋に直交位相成分をLOの強度で増幅したものである。この平衡型ホモダイン測定には大きなメリットがあり、近赤外の領域においては非常に高量子効率のシリコンのpinフォトダイオード(量子効率 ~ 1)を利用することができるため、この波長領域における実験ではほぼ損失の無い測定を行うことができる。

以上が光波制御における代表的なメリットであるが、逆に性能的限界も指摘され始めている。これまで連続量の実験で用いられてきた、スクィージング・ホモダイン測定・ビームスプリッタ・変位操作などは、全て2次までのハミルトニアンで形成される操作である。このような操作で生成される状態は、2次までのモーメントによって一意に記述できるため、ガウス型の量子操作として閉じていることが知られている³⁾。このため、ガウス型量子操作からさらなる高次の非線形性を引き出すことは不可能であり、この性質にまつわる不可能定理の一例として、

連続量の量子もつれ抽出に関するものが知られている⁴⁾。これは、伝送路の損失などのため部分的に壊れた連続量量子もつれを、ガウス型量子操作によって回復させることは出来ないというものである。

また、現在の光通信の主役である $|\alpha\rangle$ のようなコヒーレント信号から、 $|\alpha\rangle+|-\alpha\rangle$ のようなコヒーレント信号の重ねあわせを生成することも、ガウス型量子操作を用いるだけでは不可能である。このような重ねあわせは、光の量子計算における計算スピードの劇的な向上⁶⁾や、究極の通信路容量⁷⁾の実現に必要不可欠であるため、ガウス型量子操作のみを用いた従来技術を駆使するだけでは早晚、光波制御は限界に達することが予想されるであろう。

1.2 光子・光波同時制御～光による量子計算に向けて～

光波制御のほか光子制御までを含めた、光を用いた量子情報処理の大まかな流れをFig. 1にまとめておく。

ところで、離散量・連続量双方の領域において、2000年前後に光を用いた量子計算に関する重要な定理が示されている。本節では、それらを実現するための条件について簡単に振り返りつつ、前節までにおいて指摘した光波制御の限界から、光子と光波を同時に制御する必要性について解説したい。

1999年にLloydとBraunsteinが示した提案によると、3次かそれ以上の次数の非線形ハミルトニアンが用意できれば、任意の量子ゲートを生成することが可能である⁸⁾。これは直ちに、3次以上の非線形性をガウス操作と組み合わせられれば量子計算が可能になる、ということを示している。3次以上の非線形操作は、しばしば「非ガウス型量子操作」と呼ばれる。しかしながら、文献⁸⁾で想定されている非ガウス型量子操作は、Kerr媒質のような非線形媒質

Fig. 1 A brief history of quantum information processing and quantum optics.

によってようやく実現可能なものであり、単一光子レベルの微弱な信号に対して適用できるような大きな非線形性を持った光学媒質は、未だに知られていない¹¹⁾。では、もし仮にそのような非線形性が利用できなかった場合にどうなるかといえば、2次までの非線形性のみを用いた場合の連続量量子計算は、古典系で十分シミュレーションできる程度の性能しか発揮できないという結論が得られている^{5,6)}。

一方、離散量の領域に目を移すと、2001年にKnill, Laflamme, Milburnによって、線形光学素子を用いた量子計算という概念が発表された⁹⁾。この手法によれば、ビームスプリッタのような線形光学素子、光子検出器、補助的な量子もつれを生成するための単一光子源を組み合わせると、確率的に任意の量子ゲートを構築できる。ここで重要になってくるのが、光子検出によって非線形性を出そうとする試みであり、このような試みは一般に、「測定誘起型非線形過程」と呼ばれている¹¹⁾。

測定誘起型非線形過程では、量子もつれと光子検出器の性質を用いて、実効的に強い非線形過程を誘起できる。この過程を実現するための最も簡単な配置のうちのひとつを、以下のFig. 2に示す。Fig. 2では、まずスクィーズド状態のような入力量子状態がビームスプリッタで分割され、もつれ合い状態が生成される。量子もつれはその部分系が非局所的相関を持っているため、そのうちの片方を光子検出器で測定すると、その測定結果に応じてもう片方の量子状態が非局所的に変化するという効果が生じる。ここで、光子数を識別する測定や光子の有無を判別する測定は一般に光子数への射影測定となっており、この離散量への射影が非常に強い非線形性を誘起するため、残った状態は非線形な状態変化を受ける。この一連の過程では、光子検出器で測定した状態は壊れてしまい、またその操作自体も確率的なものであるというデメリットがあるものの、単一光子レベルでの高次の非線形性を実現できるため近年大きく注目されている。

ここまでの流れをまとめると、

- ・現在の技術では決定論的に実装できない非線形性を、光子測定を用いて確率的に誘起する
- ・測定に際して壊れてしまう量子状態を補うために、あ

Fig. 2 An example of a measurement-induced nonlinear process.

らかじめ量子もつれ状態にある複数のモードを補助系として準備しておく

という以上2点が、光の量子計算の実現に向けた試みの中で、重要な役割を担っている。

これらの背景の中、Gottesmanらは連続量の系において、従来のガウス操作に加えて光子検出を用いることにより、連続変数に量子ビットを符号化できることを示した¹²⁾。連続変数を2値の量子ビットに符号化する手続きは、極めて非線形な過程である。ここに、連続量を用いた量子情報処理においても、測定誘起型の非線形過程が、高次の非線形性を誘起するために有効な手段であることが示されたのである。

2. 光の非ガウス型量子状態

次に、前節までの流れと本論文の「非ガウス型量子状態の生成」のつながりについて順に説明してゆきたい。

その前にまず、光の領域における巨視的重ね合わせ状態について触れておく。ここでの巨視的重ね合わせ状態とは、「マクロ」に識別可能なコヒーレント状態の重ね合わせのことである。この「コヒーレント重ね合わせ状態」(Coherent superposition state: CSS)は以下の式で記述され、互いに位相が反転した二つのコヒーレント状態が、重ね合わせ位相 ϕ で重ね合わさっている。 N は規格化定数、 α はコヒーレント振幅を表している。

$$|\text{cat}(\phi, \alpha)\rangle = N \{ |+\alpha\rangle + e^{i\phi} |-\alpha\rangle \} \quad (1)$$

コヒーレント状態が最も古典に近い状態であることは既に触れたが、これらの重ね合わせ状態は、今度は極めて量子性の高い状態となる。その最たる性質は、この状態の持つ複雑な量子干渉の干渉縞である。コヒーレント状態が最も古典的な量子状態であることから、これらの状態はシュレーディンガーによって指摘された有名な猫のパラドクス¹³⁾にちなんで、「シュレーディンガーの猫」状態と呼ばれている¹⁴⁾。元々のシュレーディンガーの猫状態は、古典的な事象の量子力学的重ね合わせを考えたときに生じる不可思議さ(非古典性)を指摘したものであったが、このコヒーレント重ね合わせ状態も、電磁場の直交位相成分の擬似確率分布関数(Wigner関数、後述)において“負の値”を持つ、という非古典性を示す。

このCSSの生成方法は、YurkeとStolerにより1986年に最初の提案がなされた¹⁵⁾。ところが、この生成プロトコルもKerr効果のような3次の非線形を用いることを仮定しており、物理的興味からその生成は積年の目標であったものの、今に至るまでこの手法に即した成功例は光の領域では報告されていない¹²⁾。ところが、オリジナルの提案より10年ほど経ってから、CSSに非常に近い状態を生成できる手法がDaknaらによって提案された¹⁶⁾。それが、本研究で我々のグループで生成に成功した、スクィーズド状態

¹¹⁾ 現在までに有効なKerr効果を引き出せる系としてhigh-Q cavityを用いたcavity-QED系¹⁰⁾などが知られているが、これは高速の用途には向かず、例えば光の進行波に作用させるような用途には不向きであろう。

¹²⁾ マイクロ波領域や、捕獲イオンを用いた実験など、光以外の領域では既に成功例がある。

から光子検出器を用いて光子を除去する手法である。

2.1 シュレーディンガーの子猫状態

以下のFig. 3に、Daknaらによって提案された手法を示す。

このプロトコルは、以下の通り極めてシンプルなものである。

- 1) 光源にはガウス状態の一つであるスクィーズド状態を入力として用意する
- 2) ビームスプリッターで分割した後、片側の出力でAPDによる光子検出を行う
- 3) 出力をホモダイン測定を用いて検証する

この手法でも先述の測定誘起型非線形過程の原理が活用されており、補助的な量子もつれ生成のために、非古典状態としてスクィーズド状態が用いられている。スクィーズド状態をビームスプリッターで分割した際に生成される量子もつれにより、片方の出力で光子検出器を行った結果、出力量子状態は入力とは打って変わって、形状の異なる「非ガウス型の量子状態」となる。この状態はその生成のメカニズムから、「光子を除去したスクィーズド状態 (photon-subtracted squeezed state: PSS)」と呼ばれている。生成された状態の特性はWigner関数と呼ばれる擬似確率分布で評価でき、これが大きな負の値を取るほど非古典的性質が強いとされる。CSSもPSSもWigner関数の値が負になる極めて非古典的な状態であり¹³、それらの性質がほぼ完全に一致する領域が存在する。CSS側から見たとき、PSSとのフィデリティが最も高くなるのが、CSSのコヒーレント振幅 α が非常に小さい ($|\alpha| \leq 1$) 領域である。コヒーレント振幅がはっきりと識別可能なサイズとなる $|\alpha| \gg 1$ のCSSが、「巨視的」重ね合わせ状態とされるのに対し、 $|\alpha| \leq 1$ の「準巨視的」重ね合わせに対応するPSSは、しばしば「シュレーディンガーの子猫」状態と呼ばれる。Fig. 3では、PSSも、比較に用いられているCSS ($\varphi = \pi$) も、ともに奇数光子の重ね合わせ状態となっており、Wigner関

数の負の値はこの光子の奇のパリティに対応している。

このPSSは、実験的には縮退パラメトリック過程により生成される真空スクィーズド光をビームスプリッターで分割し、その出力のうち片方をAPDを用いて光子検出することで生成可能である。もちろんAPDには本当の意味での光子数識別能力はなく、光子の有無が判別できるだけであるが、測定対象としている光が単一光子レベルの微弱光であるため、APDを1個用いた場合には、近似的に単一光子検出を行っていると見なすことができる。実際に実験で用いている分岐比は、10%ないしそれ以下程度の反射率であり、そこから漏れて来たスクィーズド光の一部を光子検出する。分岐比を上げると状態の生成確率は増えるが、一方で出力状態も劣化するため、本質的には小さい反射率とするのが妥当である。

このシンプルな手法においては、しかし一連の過程の中に、

1. 状態の生成：光子検出器による離散的エネルギーの測定
2. 状態の測定：ホモダイン測定による連続的位相分布の測定

という離散量と連続量に関する重要な操作が含まれている。ここに、前節で述べてきた光子・光波同時制御との大きなつながりが見出せる (Fig. 1)。つまり、DaknaらによるPSS生成のプロトコルは、光の連続量量子計算などへ向けた新しい技術開発のための、格好のたたき台となっているのである。この新しい技術を実験的に開発することが本研究の目的であり、本研究で開発した技術や、培ったノウハウは今後、光を用いた量子情報処理の潜在能力をさらに引き出すために、必ずや役立つものになると言えよう。

2.2 最新の動向

それでは、シュレーディンガーの子猫状態の生成と、その周辺状況に関して述べていきたい。

Fig. 3 The photon-subtraction scheme proposed by Dakna et al..

¹³ 一方スクィーズド状態は非古典的な状態であるが、ガウス型量子状態であり、Wigner関数は負の値を取らないことが知られている²⁾。

パルスのスチーズド光とAPDを用いたPSS生成に関する最初の試みは、2004年にフランス国立科学研究センター (Centre National de la Recherche Scientifique: CNRS) のグループから報告された¹⁷⁾。しかしながら、さまざまな要因による損失のため、Wigner関数の負の値を実測するのは容易ではなく、この時点ではまだWigner関数に負の部分は確認されなかった。実際には、光子検出の結果、入力のスチーズド状態からの統計性の変化が確認されただけであり、生成されたPSSのCSSとの類似性はそれほど高くはなかった。

ところが2006年になり、CSSに極めて近い性質(=Wigner関数の負の領域)を持ったPSSの生成成功に関する報告が相次いだ。最初のグループはやはりCNRSのグループで、次に続いたのがコペンハーゲン大学ニールスボーア研究所 (Niels Bohr Institute: NBI) のグループであった^{18,19)}。CNRSのグループでは光源としてフェムト秒のパルスレーザーが用いられており、光源はパルスのスチーズド光である(波長850 nm付近)。フランスのグループの実験で生成されたPSSは、もっとも大きい負の値を取るWigner関数原点において、実測値として -0.026 ± 0.012 と明らかな負の値が得られており、PSSがコヒーレント振幅の小さいCSSに極めて近い性質を持っていることが確認された。このため、彼らの実験はシュレーディンガーの子猫状態に関する最初の成功例であるとされている。一方NBIのグループでは波長852 nmにおける連続波のスチーズド光

が用いられており、光源はリング型光共振器を用いたOPOである。こちらでも実測値でほんのわずかに負の値が得られたとのことであったが、具体的な数値は掲載されていない。逆に、ホモダイン検出器の量子効率などを補正することにより -0.040 ± 0.014 の値が示されている。尚、以上2グループにおいて光源となるスチーズド光生成に用いられていた非線形光学結晶は、ニオブ酸カリウム (KNbO₃) であった。

我々のグループ(情報通信研究機構、東京大学)においても、波長860 nmの連続波スチーズド光を用いて2004年から独自にこの状態の生成に取り組んできており、世界初の原理実証が叶わなかったのは大変残念であった。しかしながら、我々のグループでは系全体の損失を低く抑える実験的努力に加え、ニオブ酸カリウムとは異なる、非常に低損失な非線形光学材料(周期分極反転燐酸チタン酸カリウム: PPKTP)を採用することにより、先行の2研究と比較して大きな負の値(-0.081)を持った状態を、ほぼ同時期に観測することに成功した²⁰⁾。これは無補正の値としては世界記録である(単位系は $\hbar=1$ で揃えられている¹⁴⁾)。以下のFig. 4に、PPKTPを用いてさまざまな励起光領域で実験を行った結果を示す。図中a, b, cはそれぞれ、a→cでOPOの励起光強度を大きくしていったときのWigner関数である。Fig. 4中段はホモダイン測定結果から得られる直交位相成分の実波形データ、下段が実波形データを元に最尤推定法を用いて算出した密度行列の対

Fig. 4 Experimental results on 3 different pump regions: G_+ are gain values of the subthreshold OPO.

¹⁴ Wigner関数の原点は量子状態の光子統計性のみに依存し、理想的に奇数光子のみが含まれる状態であれば原点は必ず $-\frac{1}{\pi}$ となる。

角項, 上段が密度行列全体から計算したWigner関数である. ポンプ光強度が小さい領域では単一光子に近いが, ポンプ光強度が大きくなると二つのピークが徐々に識別できるようになっている. 尚, このときのAPD系への分岐比は5%である.

3. 展 望

CNRSグループの実験に関しては, 子猫状態の生成実験以降, $n=2$ の光子数状態のトムグラフィ実験²¹⁾, またコヒーレントに干渉させた光子を除去する手法を用いた, 量子もつれ増幅の実験²²⁾が報告されている. さらに文献23)では, 2光子状態をホモダイン測定で事後選択することにより異なる猫状態を生成することに成功しており, このような状態は最終的には量子中継器への応用が見込まれている. また, 文献22)のプロトコルが最終的に目標とするところが連続量の量子もつれ抽出であることは明白であり, これは今現在, 実験が待ち望まれている連続量の最重要プロトコルのうちの一つである.

一方, CNRSのグループがパルス光を光源として用いているのに対し, 我々のグループとNBIのグループは光共振器で生成された連続波の光源を使用しており, その共振器線幅はともに約10 MHz程度である. これは例えばセシウムD2線(波長852 nm)の線幅などに近い値であり, EIT等の手法を用いた原子による量子メモリ²⁴⁾への応用を見据えた場合, パルスの実験にはない大きな利点があるといえる. また, 光のFock状態に対応する状態として, 原子ではDicke状態が知られている. 今回生成した光子のパリティの揃った光を, 例えばDicke状態やその重ね合わせ状態へ転写させる, といったことも将来的には可能になるかもしれない.

他には, 例えば量子テレポーテーションにおいてこのような状態を送信しようと試みた際, 伝送路における損失に打ち勝ち出力側でも負の部分を確認するためには, 入力としてできるだけ負の値の大きい状態が必要となろう. 今回我々のグループにおいて得られた負の値は, 実験的な効率を考慮した場合の限界値に近く, 非古典性を

伝送する際の強力な武器となることが期待される.

参考文献

- 1) S. L. Braunstein and A. K. Pati: *Quantum Information with Continuous Variables* (Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 2003).
- 2) U. Leonhardt: *Measuring the Quantum State of Light*, (Cambridge University Press, Cambridge, 1997).
- 3) A. Ferraro, S. Olivares, and M. G. Paris: *Gaussian states in quantum information* (Biliopolis, Napoli, 2005).
- 4) J. Eisert, S. Scheel, and M. B. Plenio: Phys. Rev. Lett. **89** (2002) 137903; J. Fiurášek: Phys. Rev. Lett. **89** (2002) 137904; G. Giedke and I. Cirac: Phys. Rev. A. **66** (2002) 032316.
- 5) S. D. Bartlett, B. C. Sanders, S. L. Braunstein, and K. Nemoto: Phys. Rev. Lett. **88** (2002) 097904.
- 6) S. D. Bartlett and B. C. Sanders: Phys. Rev. Lett. **89** (2002) 207903.
- 7) V. Giovannetti, S. Guha, S. Lloyd, L. Maccone, J. H. Shapiro, and H. P. Yuen: Phys. Rev. Lett. **92** (2004) 027902.
- 8) S. Lloyd and S. L. Braunstein: Phys. Rev. Lett. **82** (1999) 1784.
- 9) E. Knill, R. Laflamme, and G. J. Milburn: Nature **409** (2001) 46.
- 10) Q. A. Turchette, C. J. Hood, W. Lange, H. Mabuchi, and H. J. Kimble: Phys. Rev. Lett. **75** (1995) 4710.
- 11) 佐々木 雅英, 松岡 正浩 監修: 量子情報通信 (オプトロニクス社, 2006年).
- 12) D. Gottesman, A. Kitaev, and J. Preskill: Phys. Rev. A **64** (2001) 012310.
- 13) E. Schrödinger: Naturwissenschaften **23** (1935) 807; **23** (1935) 823; **23** (1935) 844.
- 14) C. C. Gerry and P. L. Knight: *Introductory quantum optics*, (Cambridge University Press, Cambridge, 2005).
- 15) B. Yurke and D. Stoler: Phys. Rev. Lett. **57** (1986) 13.
- 16) M. Dakna, T. Anhut, T. Opatrny, L. Knoll, and D.-G. Welsch: Phys. Rev. A **55** (1997) 3184.
- 17) J. Wenger, R. Tualle-Brouri, and Ph. Grangier: Phys. Rev. Lett. **92** (2004) 153601.
- 18) A. Ourjoumtsev, R. Tualle-Brouri, J. Laurat, and Ph. Grangier: Science **312** (2006) 83.
- 19) J. S. Neergaard-Nielsen, B. Melholt Nielsen, C. Hettich, K. M. Imer, and E. S. Polzik: Phys. Rev. Lett. **97** (2006) 083604.
- 20) K. Wakui, H. Takahashi, A. Furusawa, and M. Sasaki: Opt. Express **15** (2007) 3568.
- 21) A. Ourjoumtsev, R. Tualle-Brouri, and Ph. Grangier: Phys. Rev. Lett. **96** (2006) 213601.
- 22) A. Ourjoumtsev, A. Dantan, R. Tualle-Brouri, and Ph. Grangier: Phys. Rev. Lett. **98** (2007) 030502.
- 23) A. Ourjoumtsev, H. Jeong, R. Tualle-Brouri, and Ph. Grangier: Nature **448** (2007) 784.
- 24) C. Monroe: Nature **416** (2002) 238.

レーザーワード

シュレディンガーの猫状態 (Schrodinger cat state)

マクロスコピック(巨視的)に識別できる量子状態の, 重ね合わせ状態. 名称の由来は, シュレディンガーによって1935年に提案された, 量子力学の不可思議な点を指摘した著名な思考実験(生きている猫と死んでいる猫の重ね合わせ)である. 現在に至るまで, シュレディンガーの提案そのもののような巨視的な系での重ね合わせは実

現していないものの, イオントラップを用いた捕獲原子系や, 超伝導を用いたマイクロ波共振器内など, 準巨視的と見なせる量子系においては実現されている. 今回紹介した光の領域におけるシュレディンガーの猫状態は, 電磁波の位相が180度ずれた, 振幅の小さな二つのコヒーレント状態の重ね合わせである. (和久井 健太郎)