

スクィーズド状態と最小不確定状態

発表者: 比嘉 庸司
指導教官: 賀数 清孝

1. コヒーレント状態

日常的になじみの深い電場や磁場は、波として振舞う。このような古典的な波—電磁波—にもっとも近い量子状態は、コヒーレント状態である。コヒーレント状態においては、生成消滅演算子の線形結合で定義される直交位相振幅演算子

$$\hat{a}_1 = \frac{1}{2}(\hat{a} + \hat{a}^\dagger) \quad , \quad \hat{a}_2 = \frac{1}{2i}(\hat{a} - \hat{a}^\dagger)$$

に対し、それらの不確定は $\Delta a_1 = \Delta a_2 = \frac{1}{2}$ となり、2つの直交位相振幅は同じ大きさの量子揺らぎを持っている。これらはコヒーレント状態の直交位相振幅に対する原理的な限界を与えており、標準量子限界と呼ばれている。

2. スクィーズド状態

コヒーレント状態が明らかになると、さらに古典的には知られていなかった新しい量子論的な状態が存在することがわかる。その代表がスクィーズド状態である。

不確定性関係 $\Delta a_1 \Delta a_2 \geq \frac{1}{4}$ を満足しつつ、 \hat{a}_1 と \hat{a}_2 の一方の精度を犠牲にして他方の量子揺らぎを標準量子限界よりも小さくすることは可能である。そのような状態をスクィーズド状態といい、この状態に対する \hat{a}_1 と \hat{a}_2 の不確定はそれぞれ

$$\Delta a_1 = \frac{1}{2}e^{-r} \quad , \quad \Delta a_2 = \frac{1}{2}e^r$$

となる。したがって $r > 0$ ($r < 0$) のときは、 \hat{a}_1 (\hat{a}_2) の揺らぎが標準量子限界よりも小さくなる。

3. 最小不確定状態

これらコヒーレント状態とスクィーズド状態の不確定性関係が最小不確定を取っていること、また、一般に最小不確定状態を与える条件について示す。

4. 結果

コヒーレント状態とスクィーズド状態はともに最小不確定状態であるが、コヒーレント状態においては2つの直交位相振幅の量子揺らぎがそれぞれ等しいのに対し、新しい消滅演算子 $\hat{b} = e^r \hat{a}_1 + ie^{-r} \hat{a}_2$ に対するコヒーレント状態であるスクィーズド状態においては、直交位相振幅の揺らぎの一方は減衰し、他方は反対に増大する。スクィーズド状態で $r = 0$ である状態がコヒーレント状態を示す。