

# 従来の限界を超える 光位相測定に成功

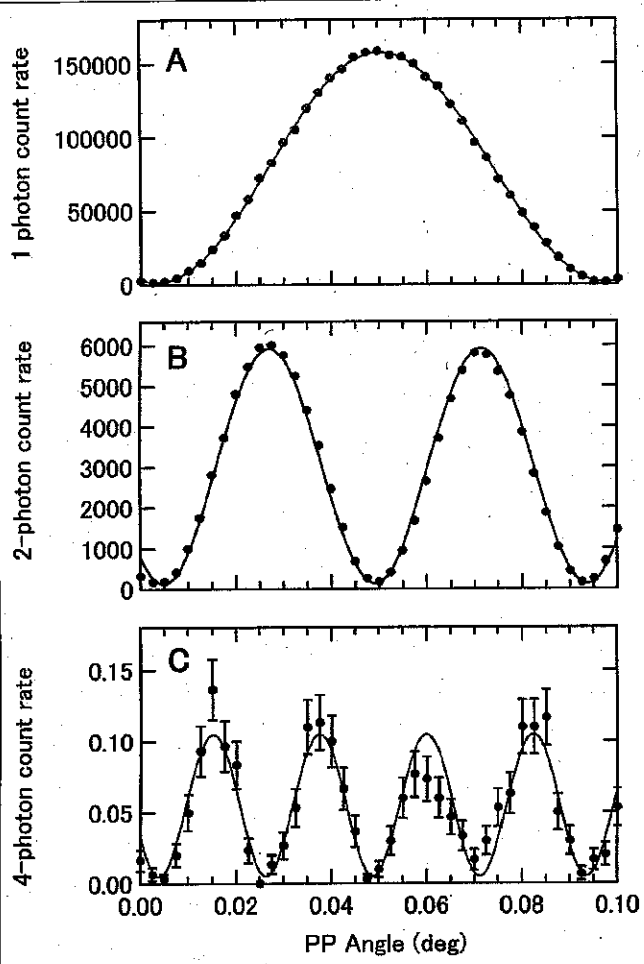
## 科学技術総合

### 量子もつれ合い状態の 4個の光子用いる

北海道大学電子科学研究所の竹内繁樹准教授らは、量子もつれ合い状態にある4個の光子を用いて、古典理論による従来のレーザー光測定限界を超えた感度の光位相測定に世界で初めて成功した。距離を正確に測ることは様々な観測・観察の基本となる技術だけに、今回の成果は大きな意味を持つ。4日のサイエンスに掲載された。

#### 北大の竹内准教授ら世界初

重力波検出や位相差顕微鏡など、さまざまな分野で光干渉計は使われているが、これらの測定精度は、理論的限界「標準量子限界」があった。しかし、光子を量子論的にもつれ合わせる



実験結果：縦軸の単位はすべて毎秒。(A) 1光子入射時の干渉縞。(B) 光子を1個ずつ、入力ポートA, Bから入射した際の2光子干渉縞。(C) 4光子干渉縞。明瞭度は91±6%で、古典理論による限界感度を破るための明瞭度83%より十分大きな値である。

この研究は80年代から進められていたが、実際に量子もつれ合わせによって標準量子限界の1・06倍の測定感度を實現した。測定感度は光子の数を増やした

の光子を発生させているが、この方法では4個の光子はまれにしか発生しないため、一つの実験を長時間行う必要がある。数時間にわたって数十ナノ秒程度の誤差で光経路を維持しなければならぬため、Sagnac干渉計を改良し、2つの経路の光が全く同じ鏡で反射されるようにした新しい干渉計を開発した。

こうした実験系を開発し、光子を2個ずつ入力し、2つの出口の一方は3つの光子を出力し、もう一方が1つの光子を出力した時に、4光子干渉縞が光の波長の4分の1の波長になっていることを確認した。また、この干渉の正確さを定量的にあらわす明瞭度が91±6%と、標準量子限界である83%を上回っていることも確認できた。少なくとも見積もっても1・11倍の測定感度になる。

また研究グループは2光子の場合の実験も行っており、阪大の1・06倍を上回る1・36倍の感度を實現し、量子論的な理論限界であるハイゼンベルク限界に近い精度を達成した。

今回の研究成果によって、これまでの限界を超えた計測技術が開発できる可能性が示された。将来、1万個の光子のもつれ合い状態を實現すれば、標準量子限界の100倍の測定精度を實現できる。また単一の細胞など、照射できる光量が限られている場合に強力な観察ツールとなることも期待できる。

今回研究グループは、光子4個が互いにもつれ合った状態を高精度に作り出すことに成功し、さらに非常に安定な光干渉計を開発することで、3個以上の光子では初めて標準量子限界を超える感度での光位相測定に成功した。感度は標準量子限界の1・11倍。

まず、4個の光子が、同じ時間、同じ位置、同じ方向に入射されているかどうかを、量子干渉の結果を直接観察する新手法を開発した。

今回の実験では、非線形光学結晶中でパラメトリック下方変換を起し、4個

また研究グループは2光子の場合の実験も行っており、阪大の1・06倍を上回る1・36倍の感度を實現し、量子論的な理論限界である

ハイゼンベルク限界に近い精度を達成した。今回の研究成果によって、これまでの限界を超えた計測技術が開発できる可能性が示された。将来、1万個の光子のもつれ合い状態を實現すれば、標準量子限界の100倍の測定精度を實現できる。また単一の細胞など、照射できる光量が限られている場合に強力な観察ツールとなることも期待できる。

竹内准教授は「4個の光子の場合、出力側の3と1を同時に逆から見れば、すぐに精度は上がる。また、8個の光子もつれ合い状態までは現在の延長線上で研究を進められると思うが、10個以上になった時には新たなブレークスルーが必要になる」と話す。なおこの研究はJSTの戦略的創造研究推進事業CRESTタイプで行われたもの。