

論文内容の要旨

論文題目 : The analysis of continuous-variable quantum teleportation of optical field by a measurement-dependent transfer-operator method
(測定依存トランスファー演算子法による光の場の連続量量子テレポーテーションの解析)

氏名 : 井手俊毅

量子テレポーテーション (図1) とは、情報の送り手 (Alice と呼ぶ) が量子エンタングルメントを用いて、遠隔地にいる情報の受け手 (Bob と呼ぶ) に未知の量子状態を伝送する方法のことである。連続量量子テレポーテーションにおける出力状態は、測定依存トランスファー演算子法に状態を適応することで記述される。一般に出力状態は状態と異なるが、それはEPRビームのエンタングルメントの不完全さによるものである。この方法を用いれば、出力状態の各々の測定の反作用の効果を詳細に調べるのが可能となる。いくつかの状態について、具体的に真空状態、一光子数状態、コヒーレント状態などをこの演算子に作用させ、出力状態の光子統計の測定値やエンタングルメントに対する依存性を調べた。測定値が大きい場合には、出力状態の平均光子数もまた大きくなるのが分かった。

非古典的な一光子数状態についての解析の結果を2つの並行したチャンネルをもつテレポーテーションにより任意の偏光状態 (キュービット) を転送する場合に適用した。その結果、任意のエンタングルメントに対して偏光の反転の確率が求まり、これは光子の損失の確率より常に小さいことが分かった。また2チャンネルの連続量量子テレポーテーションの系では平均フィデリティは偏光の基底の取り方に依存しないことも示された。

出力場の平均振幅を調整するゲインパラメータに対する、コヒーレント

状態、真空状態、一光子数状態を入力とした場合の出力状態の統計のゲイン依存性を調べ、テレポーテーションのフィデリティをゲイン調整で改善する可能性を調べた。フィデリティが最大になるのはゲインパラメータが1より小さい時である。一光子数状態ではあるが偏光が未知、振幅は固定されているが位相は未知のコヒーレント状態という部分的に既知の状態に対して、常に平均フィデリティが最大となるようなゲイン調整の方法をそれぞれの入力状態の場合について提案した。

一般にエンタングルメントの度合いが小さい時ほどゲイン調整による平均フィデリティの改善の余地が大きい。さらにコヒーレント状態の場合、平均振幅が小さいほどゲイン調整による平均フィデリティの改善の余地が大きい。コヒーレント状態の平均強度が一光子数状態の強度と同じ場合、あるエンタングルメントの時、取るべきゲインパラメータがほとんど同じでほぼ同じ調整法でフィデリティが改善できることが示された。

一光子数状態を入力とした場合の場のコヒーレンスを定量化し、エンタングルメントの不完全さが場にコヒーレンスをもたらし、測定の反作用の大きさに応じてその影響が増大されることを示した。また場の測定とエンタングルメントが偏光の反転に与える影響を調べた。2チャンネルの連続量量子テレポーテーションで一光子数状態の偏光状態をテレポートした後のモード間のコヒーレンスの性質を偏光の度合いを通して調べた。偏光の度合いはテレポーテーションが完璧であれば一光子数状態で100%の偏光を持つ。またエンタングルメントがない場合でも出力はコヒーレント状態で100%の偏光を持つ。有限のエンタングルメントの時は偏光の解消が起き、その様子を測定値に対して求めた。また出力状態を測定値で平均化状況下では、それぞれのモードには同じ分だけ光子数の期待値が付加され光子数の期待値のモード間の差は一定に保たれることが示された。この性質を用いることで、偏光の転送におけるエラーを軽減することができる。

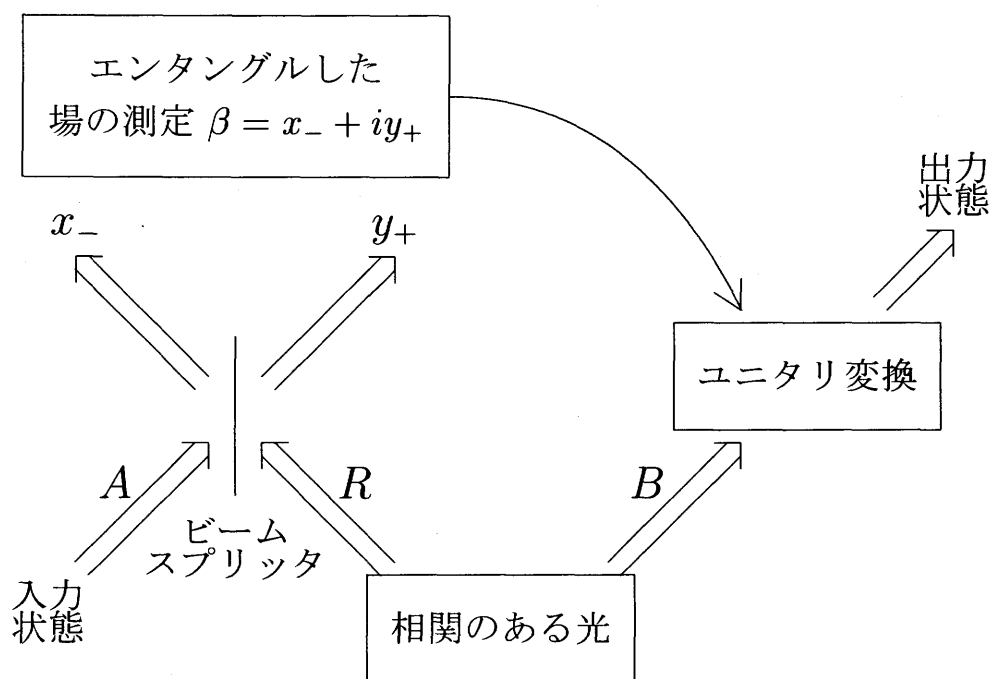


Figure 1: 連続量量子テレポーテーションの概念図。