

波形整形した局部発振光を用いた パルス光連続変数エンタングルメントの時間領域測定

Time-domain measurement of strongly-correlated continuous-variable entanglement using shaped local oscillator pulses

学習院大理¹, 産総研² ○(D) 新城 亜美¹, (B) 片山 拓哉¹, 衛藤 雄二郎², 平野 琢也¹
Gakushuin Univ.¹, AIST², ○Ami Shinjo¹, Takuya Katayama¹, Yujiro Eto², and Takuya Hirano¹
E-mail: shinjo@qo.phys.gakushuin.ac.jp

強い相関を持つエンタングルメントは、局所実在論と量子論の不完全さとの間の矛盾を指摘した Einstein-Podolsky-Rosen (EPR) パラドックスの実証を行うことや、エンタングルメントの片方の測定によってもう片方の状態に影響を及ぼす効果であるステアリングの実証を行うことが可能であることから、基礎物理において意義のあるものであるだけでなく、量子鍵配送などの量子情報処理への応用の分野においても有用なものである。光の直交位相振幅を用いた連続変数エンタングルメントで EPR パラドックスやステアリングを実証するためには、エンタングルメントを二手に分けて Alice と Bob それぞれで直交位相振幅を測定した際に、Alice と Bob の間の測定結果の相関の強さ、つまり条件付き分散の積が直交位相振幅 $\hat{X} (= \hat{a}^\dagger + \hat{a})$, $\hat{P} (= i(\hat{a}^\dagger - \hat{a}))$ の間の不確定性関係を破るよう見えるくらい相関の強いエンタングルメントを生成すれば良い (ここで \hat{a}^\dagger , \hat{a} は生成消滅演算子である。) すなわち Alice の測定結果が決まった時の Bob の直交位相振幅値の分散をそれぞれ $\Delta_{B|A}^2 X$, $\Delta_{B|A}^2 P$ と表すと、 $\Delta_{B|A}^2 X \Delta_{B|A}^2 P < 1$ となれば EPR パラドックスやステアリングの実証ができたと言える。この式で表した連続変数エンタングルメントの相関の強さの基準は EPR-Reid 基準 [1] と呼ばれている。

我々はパルス光源を用いて連続変数エンタングルメントを生成し、1つのパルスから1つの直交位相振幅値を得る時間領域測定において EPR-Reid 基準を満たすエンタングルメント生成に初めて成功した [2]。時間領域測定では個々のパルスに個別にアクセスすることが容易であることから、量子情報処理への応用に有利であるという利点がある。しかしパルス光源はエンタングルメントとホモダイン検出に必要な局部発振光との間のモードマッチの難しさがあり、今までパルス光源を用いた時間領域測定の実験において EPR-Reid 基準を満たしたという報告はなかった。我々はこの課題を解決するためにパラメトリック増幅によって局部発振光のパルス時間幅を短くする波形整形を行い、時間的モードミスマッチの改善を行なった。さらに時間領域測定においては個々のパルスを独立に測定するホモダイン検出器が必要となるが、我々は高速で広帯域なオペアンプと高速応答するフォトダイオードを用いてホモダイン検出器を自作した。

図 1 は新たに得られたエンタングルメントの時間領域測定の結果である。以前の報告の時よりもさらに光学系の微調整を行なったことで、条件付き分散の積は $\Delta_{B|A}^2 X \Delta_{B|A}^2 P = 0.82 \pm 0.09$ となった。これは [2] で報告した時よりも相関の強い結果となっている。

References

- [1] M. D. Reid, *et al.*, Rev. Mod. Phys. **81**, 1727–1751 (2009).
[2] 新城亜美 他, 第 79 回応用物理学会秋季学術講演会 20p-211B-5 (2018).

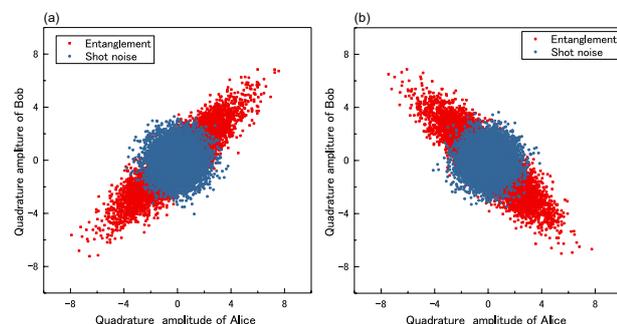


Figure 1: Correlation diagrams of 8655 quadrature values (a) \hat{X} and (b) \hat{P} obtained from the measurement of the entangled pulse trains.