

양자 공동에서 측정을 이용한 원자 얽힘 상태 구현

Quasi-deterministic generation of entangled atoms in a cavity

홍종철⁽¹⁾, 이해웅⁽²⁾한국전자통신연구원⁽¹⁾, 한국과학기술원⁽²⁾

jchong@etri.re.kr

둘 이상의 부분으로 나누어질 수 있는 계의 전체상태함수를 각각의 부분 계의 상태함수의 텐서 곱으로 나타낼 수 없는 경우 이 계의 상태를 양자 얽힘 상태라고 한다. 이러한 양자 얽힘 상태는 양자 원격 전송[1]이나 양자 암호[2] 등의 양자정보 이론에서 핵심적인 부분을 차지한다. 지금까지 가장 성공적인 얽힘 상태 구현 방법은 매개 하향 변환을 이용한 광자의 편광 상태의 얽힘을 구현하는 것이다[3]. 광자가 아닌 다른 양자 계에서 얽힘 상태를 구현하자는 논의 역시 계속 있어 왔으며, 그 중에서 공동 QED를 이용한 얽힘 상태의 구현에 관한 연구는 최근에 발전된 공동 QED 부분의 기술로 인해 가장 활발한 분야이다[4,5]. 본 연구에서는 하나의 공동 내에 포획된 두 원자를 부분 계로 하는 얽힘 상태를 구현하는 방법에 대해 제안하고 그 실행 가능성을 고찰하였다.

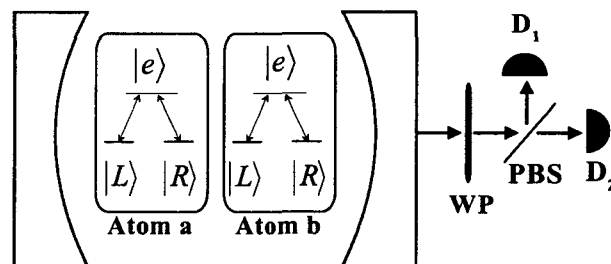


그림 1. 제안된 실험 방법의 개략도. 두 개의 램다 타입의 3준위 원자와 하나의 광자가 공동 내부에서 상호 작용하게 되고 그 결과로 원자의 얽힘 상태를 얻는다.

두 원자는 램다 타입의 3준위 원자로 각각의 기저상태와 여기상태간의 전이는 각기 다른 편광 상태의 광자에 의해 이루어진다. 각각의 기저상태를 $|L\rangle$ 과 $|R\rangle$ 이라 하고 여기상태를 $|e\rangle$ 라 한다. $|L\rangle$ 상태로 준비된 두 개의 원자를 하나의 공동내부에 포획한 후 $|L\rangle$ 과 $|e\rangle$ 사이의 전이에 관여하는 편광의 광자를 공동내부에 입사시켜 두 원자와 광자를 상호 작용시키면서 공동 밖으로 빠져나오는 광자의 편광을 관측한다. 이 광자가 $|R\rangle$ 과 $|e\rangle$ 사이의 전이에 관여하는 편광을 가진다면 이는 두 원자 중 하나가 광자를 흡수한 후 $|R\rangle$ 쪽으로 전이하면서 광자를 방출한 것이다. 이 경우 어느 원자가 이 작용에 관여한 것이지 알 수 없으므로 전체 계의 상태는 얽힘 상태로 되는 것이다. 이 방법은 피드백을 사용해서 얽힘 상태를 얻을 수 있는 확률을 높일 수 있고 그 확률이 얽힘 상태를 이용한 연구를 하기에 충분히

클 것으로 예상된다. 이러한 계에 대한 닫힌 계 해밀토니안에 대한 분석적 고찰과 열린 계에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 원하는 얽힘 상태를 얻을 확률을 계산하였다.

이러한 방법을 사용하여 얽힘 상태를 얻는 실험은 최근에 발달된 공동 QED의 기술을 이용하면 멀지 않은 미래에 할 수 있으리라 보인다. 현재의 공동에 대한 파라미터에서 세슘 원자를 사용하면 0.4 ~ 0.5 사이의 확률로 얽힘 상태를 얻을 수 있고 피드백을 사용하여 확률을 높이면 몇 번의 피드백 라운드를 거치면 거의 1에 가까운 확률로 얽힘 상태를 얻을 수 있을 것으로 생각된다. 그림[2]는 한번의 광자 관측 후에 얽힘 상태를 얻을 확률을 실험 파라미터에 대해 그린 것이다. 가장 흰 부분의 확률이 0.5 검은 부분은 0에 해당한다.

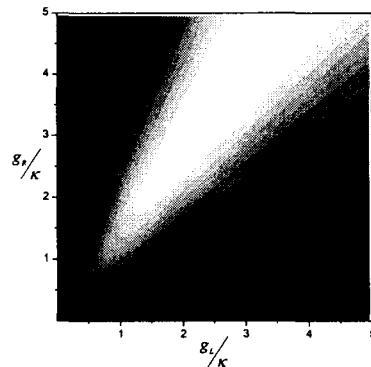


그림 2. 한 번의 광자 검출로 원자의 얽힘 상태를 얻을 확률

본 연구에서 제안한 방법으로 양자 얽힘 상태를 높은 확률로 얻을 수 있으리라 생각되며 공동 내부에 각각의 원자를 포획하고 냉각시키는 방법에 대한 기술만 더 발전한다면 충분히 효율적인 원자의 양자 얽힘 상태를 얻을 수 있을 것이다.

reference

- [1] C.H. Bennett, G. Brassard, C. Crepeau, R. Jozsa, A. Peres, and W.K. Wootters, Phys.Rev.Lett. **70**, 1895 (1993)
- [2] A.K. Ekert, Phys.Rev.Lett. **67**, 661 (1991)
- [3] P.G. Kwiat, K. Mattle, H. Weinfurter, A. Zeilinger, A.V. Sergienko, and Y. Shih, Phys.Rev.Lett. **75**, 4337 (1995)
- [4] E. Hagley, X. Maitre, G. Nogues, C. Wunderlich, M. Brune, J.M. Raimond, and S. Haroche, Phys.Rev.Lett. **79**, 1 (1997)
- [5] M.B. Plenio, S.F. Huelga, A. Beige, and P.L. Knight, Phys.Rev.A **59**, 2468 (1999)
- [6] J. Hong and H.W. Lee, Phys.Rev.Lett. **89**, 237901 (2002)