

단일 원자 형광 신호의 antibunching 관측

Observation of photon antibunching in single-atom fluorescence

윤석찬, 최영운, 박상범, 김재순, 이재형, 안경원*

서울대학교 물리학과

*kwan@phya.snu.ac.kr

광자기포획방법 (Magneto-optical trap : MOT)은 낮은 온도로 포획된 원자들을 이용하는 다양한 실험에 응용되고 있다. 원자 간섭계, 초정밀 원자시계, 원자 분광학 등의 연구에 원자 시료로서 이용되고 있으며 특히 고 밀도 극저온의 원자구름을 필요로 하는 Bose Einstein Condensation 연구에서 많은 수의 원자들을 모으기 위한 방법으로 널리 이용되고 있다. 이와는 반대로 좁은 영역에 적은 개수의 원자를 포획하고 그 위치와 개수를 제어하는 연구도 활발히 진행되어 왔다. 1994년에 J. Kimble 등이 단일 중성원자 포획⁽¹⁾에 성공한 이후 D. Meschede 등은 강한 자기장을 이용한 MOT로 단일 중성원자 포획을 구현하였고, 원자들 간의 차가운 충돌, 단일 원자의 형광 신호의 통계적 특성 등에 대하여 연구하였다^(2,3). 최근 들어 단일 원자의 자체 특성 연구 외에도 이를 이용한 다양한 연구가 진행되고 있다. 특히 단일 원자를 이용한 비 고전 광원의 제작, 단일 원자와 결합된 초 공진기의 양자전자기역학 (Cavity QED) 등에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 앞으로 양자 정보 처리 분야에도 중요한 도구로 이용될 가능성이 크다.

본 연구에서는 단일 루비듐 원자를 강한 자기장 기울기를 이용한 MOT에 포획하였으며 포획된 단일 원자로부터 방출되는 형광 신호의 이차 상관관계함수 ($g^{(2)}$)를 측정하였다. 포획된 원자로부터 방출되는 형광 신호는 집속 렌즈를 통하여 photon counting 모드로 작동되는 두개의 APD (avalanche photodiode)로 측정되었다. 각각의 APD는 Time Analyzer (9308, ORTEC)에 시작과 정지신호로 연결되어 원자로부터 방출된 빛의 도달 시간을 독립적으로 기록하게 되며, 기록된 시간 데이터들을 컴퓨터로 저장하여 빛의 도달 시간 지연에 따른 세기의 상관관계를 얻어내었다[그림 1]. 측정된 단일 원자 형광 신호의 $g^{(2)}(\tau=0)$ 는 0.26로 매우 강한 anti-bunching을 보였으며 또한 원자의 Rabi 진동에 의한 시간에 따른 형광 신호 세기의 요동도 관측되었다[그림 2]. Rabi 진동의 주기는 포획 레이저의 세기와 주파수 어긋남에 따라 달라졌다. 포획된 원자 개수가 1개인 경우 뿐 아니라 2개 3개인 경우에 대해서도 형광 신호의 $g^{(2)}(\tau)$ 를 관측하였는데, 원자 개수가 증가할수록 anti-bunching의 정도가 감소하였으며 라비 진동의 폭도 서로 불규칙한 원자의 방출 효과가 평균되어 작아짐을 관측할 수 있었다.

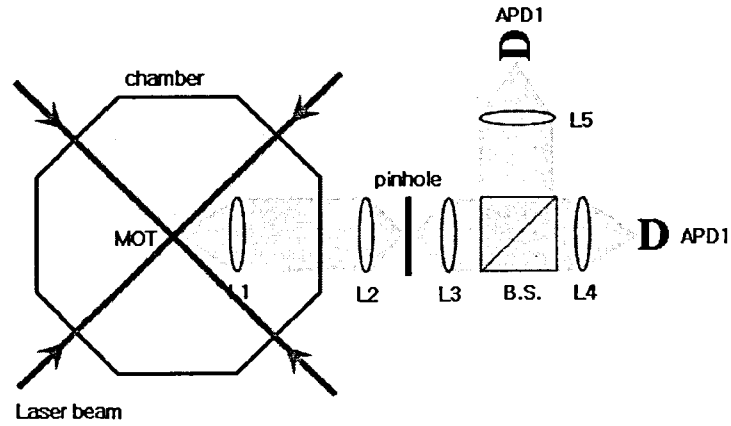


그림 1. 단일원자 형광신호의 이차 상관관계($g^{(2)}(\tau)$) 측정 실험 장치

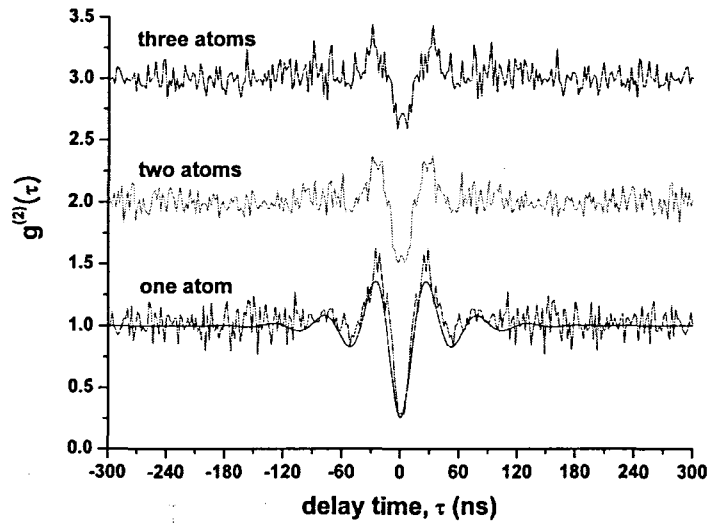


그림 2 원자 개수에 따른 형광신호의 $g^{(2)}(\tau)$

T
F

1. Z. Hu and H. J. Kimble, *Opt. Lett.*, **19**, 1888 (1994)
2. D. Haubrich, H. Schadwinkel, F. Strauch, B. Ueberholz, R. Wynands and D. Meschede, *Europhys. Lett.*, **34**, 663-668 (1996)
3. V. Gomer, F. Strauch, B. Ueberholz, S. Knappe, and D. Meschede, *Phys. Rev. A*, **58**, R1657-R1660 (1998)