얽힘상태 광을 이용한 광학계에서 광손실 및 잡음이 동시계수에 미치는 영향

Effects of the decorrelation and the noise on the coincidence detection in a optical system with entangled photons

김헌오, 고정훈, 김태수
울산대학교 물리학과
tskim@uou.ulsan.ac.kr

짧은 파장의 레이저 빔이 비선형 결정에 입사할 때 긴 파장의 두 광으로 자발적으로 변환하는 매개 하향변환(parametric down-convesion; PDC)과정을 통해서 양자적 상관관계를 갖는 광원을 얻을 수 있다. PDC 과정은 에너지 보존 ($\omega_p = \omega_s + \omega_i$)과 운동량 보존 ($\vec{k}_p = \vec{k}_s + \vec{k}_i$)에 해당하는, 위상조화(phase matching) 조건이 잘 만족할 때 효과적으로 일어난다. PDC에서 광자들이 아주 짧은 시간에 쌍으로 발생한다는 것과 이러한 광자쌍을 동시에 측정하는(coincidence count; 동시계수) 방법을 이용하면 효과적으로 신호와 잡음을 분리해 낼 수 있고, 배경(background)이나 잡음(noise)보다 미약한 신호를 통해서도 정보를 전달할 수 있는 가능성을 제공해준다.

본 연구에서는 PDC과정에서 발생하는 광자쌍을 두 개의 검출기로 동시계수를 측정할 때 광자쌍의 손실 및 외부잡음이 동시계수에 미치는 영향을 조사하였다. He-Cd 레이저에서 나온 325nm의 UV 광을 비선형 결정 BBO에 입사시켜 발생하는 650nm의 광자쌍을 두 개의 검출기(APD's)에 입사시킬 때, 렌즈나 필터 등을 포함하는 광학계 내의 광 손실이 동시계수에 미치는 영향과 바탕계수(dark count)를 포함한 외부잡음이 동시계수에 미치는 영향을 알아보기 위해서 광자계수장치를 이용하여 단일광자계수와 두 광자 동시계수를 측정하였다.

광원과 검출기 사이에 얇은 유리판을 놓고 유리판의 각도를 하향변환된 빔의 편광(수평편광)에 수직 또는 수평으로 각도를 변화시키면서 유리판의 각도에 따른 동시계수와 단일계수의 비율(N_c'/N_1')을 측정하였다. 광자쌍을 이용하는 광학계 내에서 두 검출기에 입사하는 광자의 두 경로중 한 쪽 광경로에서 손실이 생길 때는 동시계수에 영향을 미치지 않지만 두 경로에 동시에 손실이 생길 때는 동시계수가 감소하여 광학계의 동시계수 측정효율(N_c'/N_1')이 감소하였다. 열광원에서 나온 광자들이 광자쌍과 함께 입사할 때는 광자쌍에 대한 잡음의 비율이 증가하여도 동시계수에는 전혀 영향을 미치지 않았다. 이는 광자쌍은 아주 짧은 시간에 동시에 발생하는 반면에 열광원에서 나온 광자들은 시간적인 상관관계가 없기 때문이다.

이러한 얽힘 상태의 광원과 동시계수 측정방법은 광손실이나 잡음의 영향을 최소화하는 정보처리와 전송 등의 통신체계에 효과적으로 이용될 수가 있다. 광학적인 채널을 통해서 정보를 보내고자 할 때 잡음이 신호보다 커지면 정보전송 효율은 현저하게 떨어지게 되는데, 하향변환된 광자쌍과 같은 양자적 상관관계를 갖는 효과적인 광원과 이러한 상관관계를 선별할 수 있는 동시계수방법을 이용하면 정보를 전달하는 신호가 배경이나 잡음보다 아주 낮은 조건에서도 효과적인 신호전달이 가능하며, 또한 정보의

손실을 최소화하는 통신이 가능해진다.

본 연구는 1999년도 한국학술진흥재단의 연구비에 의하여 지원되었음(KRF-99-041-D00220).

1. L. Mandel, "Proposal for almost noise-free optical communication under conditions of high background," J. Opt. Soc. Am. B1, 108(1984).
2. C. K. Hong, S. R. Friberg, and L. Mandel, "Optical communication channel based on coincident photon pairs," Appl. Opt. 24, 3877(1985).
3 S. F. Pereira, Z. Y. Ou, and H. J. Kimble, "Quantum communication with correlated nonclassical states," Phys. Rev. A. 62, 042311(2000).

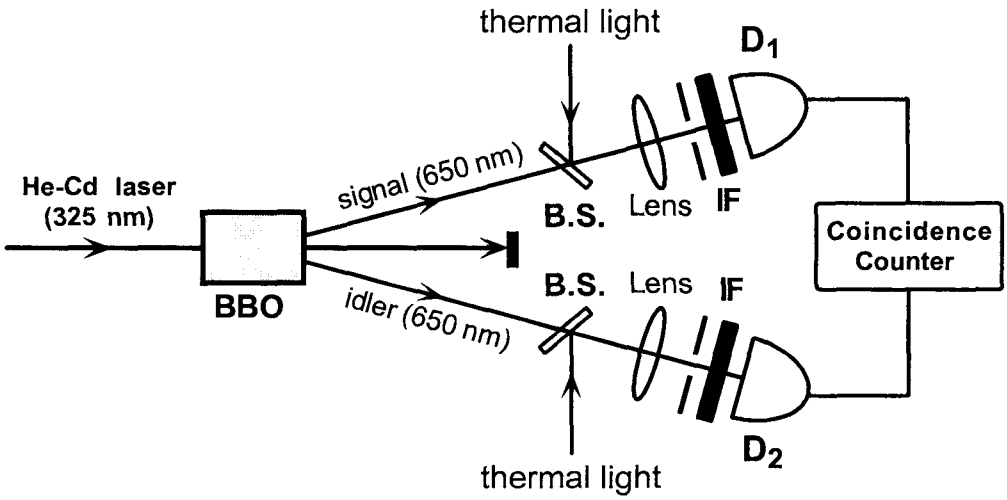

Figure 1. 광자쌍의 동시계수 측정을 위한 실험장치도.

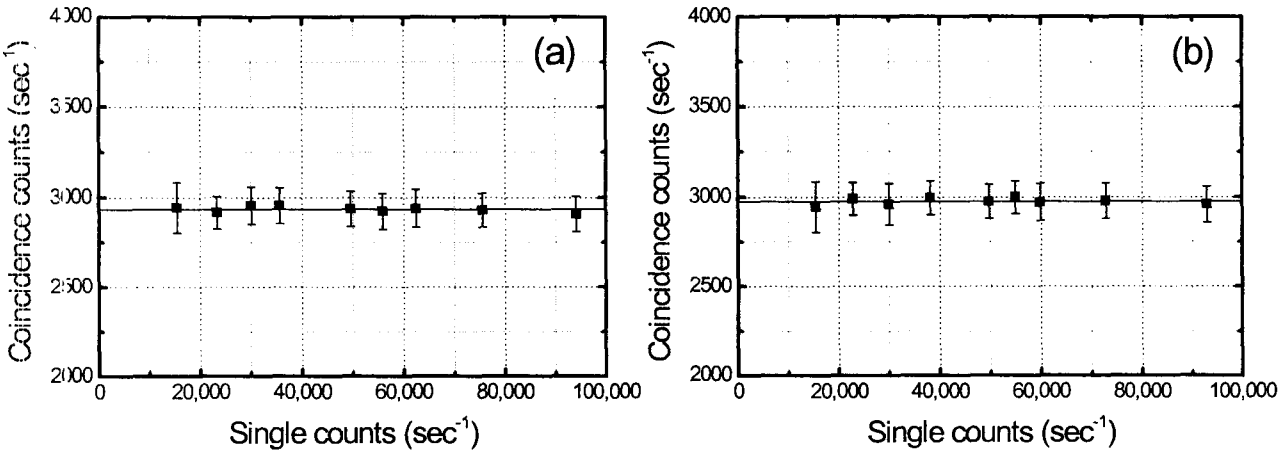

그림 2. 두 검출기 D_1, D_2에 광자쌍과 잡음이 섞여서 입사할 때 단일계수의 변화에 따른 동시계수. (a)는 검출기 D_1에만 잡음이 입사할 때이고, (b)는 D_1과 D_2에 모두 잡음이 입사할 때이다.