

# 복사가열방식 오븐에 의한 배리움 원자빔 발생과 공명 형광의 광자수 셈 방법에 의한 배리움 원자빔의 밀도 및 속도분포 측정

## Barium atomic beam generation and atomic velocity selection

박상범, 안경원

한국과학기술원(KAIST) 물리학과 거시 양자광 레이저 연구단(CMQL)

jinhp@kaist.ac.kr

단원자를 이용한 Cavity-QED 실험을 통해서 광자 수상태 및 sub-poissonian 광원 구현 및 비고전적인 광 특성을 가지는 광원등을 구현 할 수 있다. 이를 위해서는 오랫동안 공진기 안에 포획하거나, 빔의 형태로 단원자들이 일정시간 동안 공진기를 지나게 해야 한다. 본 연구는 안정적인 원자빔 속도제어 실험에 관한 것으로 자체 제작한 원자빔 오븐의 특성과 원자빔 속도 선택기의 제작, 속도 선택 결과에 대하여 논하고자 한다.

실험에 사용한 배리움 원자의 녹는점은 727°C이므로 고온 가열이 필요하다. 오븐의 가열방법으로는 직접 가열식과 간접 가열식으로 구분된다. 직접 가열식은 진공 장비 내부에 오븐이 장착되어 오븐 자체에 높은 전류를 흘려 가열되도록 하는 방법으로 오븐의 부피가 작고, 원자의 녹는점까지 빠른 시간에 도달할 수 있다는 장점을 지니고 있으나, 온도변화를 안정적으로 제어하기 어렵고 진공환경 내에서 가열되므로 고 진공 상태를 유지하는데 어려움이 있다. 또한 오븐에 흐르는 높은 전류에 의한 자기장 발생이 실험에 영향을 미치게되며, 오븐의 사용횟수는 1회로 제한된다. 또 진공 장비 내부에 설계되므로 단열을 위한 냉각수로의 설계 등 진공 장비 내부의 설계 용적이 커지며 복잡한 설계를 피할 수 없다. 반면에 간접 가열방식은 발열체의 복사열을 이용하여 오븐을 간접적으로 가열하는 방법이다. 이 방법은 발열체의 온도 제어를 통해 오븐의 온도 제어가 용이하며 발열체가 진공환경 바깥에 위치하여 고 진공 상태에 영향을 미치지 않는다. 온도변화율이 작고 안정하지만 발열체가 따로 장착되어야 하므로 부피가 커지는 단점이 있다. 본 실험에서는 간접가열 방식의 오븐을 제작하여 사용하였다.(그림1)

원자의 속도선택 방법은 광펌핑에 의한 방법과 기계적인 속도 선택방법이 있다. 광펌핑 방법의 경우 도플러효과를 이용하여 특정 속도의 원자들만이 원하는 에너지 준위로 펌핑되도록 하여 속도 선택을 한다. 이 경우 물리적 오류 없이 속도제어를 할 수 있는 장점이 있는 반면 펌핑 레이저의 주파수 안정화 등의 문제와 고가의 레이저 장비가 필요하다는 단점이 있다. 현재 광 펌핑에 의한 속도 제어를 위한 시스템은 구비된 상황이며 향후 기계적인 속도 선택방법과 비교 분석할 예정이다. 기계적인 속도 선택 방법은 chopper를 이용한 방법으로 회전 각속도 및 원자가 지나는 휠의 거리, 휠의 구멍 개수에 따라 선택된 속도성분을 가진 원자들만이 chopper를 통과할 수 있도록 설계되며, 기계적으로 간단하고 제어하기가 용이하다. 그러나 chopper의 기계적인 진동이 실험의 다른 부분 특히 공진기에 전달되지 않도록 vibration isolation에 주의를 기울여야 한다.

본 연구에서는 우선 배리움 원자빔을 만들어 그 밀도를 안정하게 제어하며 기계적 속도선택기로 원자의 속도를 선택하였다. 원자빔을 만들기 위해 간접적으로 배리움 시료를 가열하는 간접 가열 방식 원자빔 오븐(노즐 직경 570  $\mu\text{m}$ )을 제작하고, 발생하는 원자빔의 속도분포를 도플러효과를 이용하여 측정하였다. CW 단일모드 색소 레이저에 의해 유도된 공명 형광신호를 광자수 셈 방법을 이용하여 측정하였는데, 이때 사용된 원자 천이선은  $^{138}\text{Ba}$ 의  $^1\text{S}_0 \rightarrow ^1\text{P}_1$  (553 nm)였다. 형광신호의 분석을 통해 오븐 온도 변화에 따른 방출원자의 속도분포함수, 원자빔 밀도, 오븐 내부의 원자 밀도 등을 구하였다. 오븐 온도가 800°C 일 경우 오븐에서 방출되는 원자의 평균속도는 340 m/s였으며 노즐에서 30 cm 떨어진 곳에 위치한 aperture 통과 후의 원자빔 밀도는  $4 \cdot 10^{12}/\text{cm}^3$ 였다. 오븐은 온도의 함수로 매우 안정적으로 작동함을 온도에 따른 밀도분포 측정을 통해 확인하였다.(그림2)

본 실험에서 제작한 속도 선택기는 향후 Cavity-QED 실험을 위해 기계적인 진동에 대한 방진 작용이 가능하게 설계되었으며 회전판의 안정적인 회전운동을 위해 PC의 하드 드라이브를 개조하여 제작하였다. 속도 선택기는 3개의 회전판으로 구성되었고 선택된 속도분포에 하모닉스를 없게 하기 위해 간격과 폭이 적절히 조정되었다. 원자빔이 속도선택기를 통과한 후의 형광신호를 광자수 셈 방법으로 측정하였으며, 회전속도가 3600 rpm으로 고정되었을 때 원자의 평균 속도는 80 m/s, 속도분포의 폭은 FWHM이 15 m/s 정도였다. 본 발표에서는 실험결과를 원자 측정장치 실험과 연관지어 논의하겠다. 본 연구는 창의적 연구진흥사업의 지원으로 얻어진 결과임.

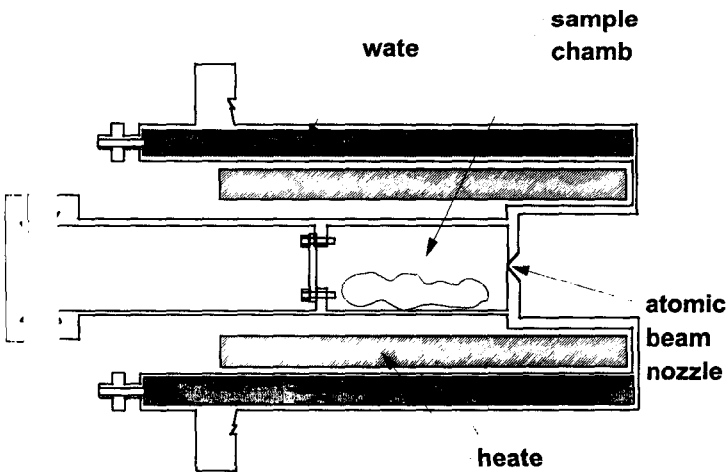


그림 1 배리움 원자빔을 위한 오븐의 단면도.

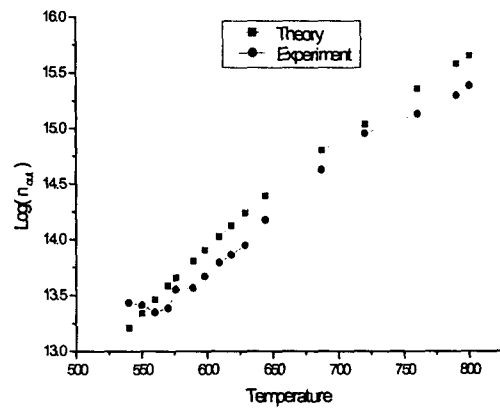


그림 2 증기압 함수에 의한 온도별 밀도 시늉과 광자 계수에 의해 계산된 밀도 비교곡선.