

Zeeman 감속기에 의하여 감속된 나트륨 원자의 자기광학적 포획 Magneto-Optical Trap of Sodium Atoms Decelerated by Zeeman Slower

고광훈, 정도영, 한재민, 이용주, 이종민
한국원자력연구소 양자광학팀
adriana@photon.snu.ac.kr

80년대 중반부터 수행된 중성원자의 자기광학적 포획은 분광실험과 원자 간섭계⁽¹⁾ 등에 적용되고 있다. 자기광학적 포획은 원자를 절대온도 0 K에 가깝게 냉각시킬 수 있다. 나트륨은 녹는점이 90 °C 이상이기 때문에, 원자간섭계에 사용하기 위한 포획원자 밀도를 얻기 위해서는 가열장치가 필요하다. Zeeman Slower는 포획챔버를 가열하지 않고도 포획깊이에 해당하는 속도를 갖는 많은 원자를 얻는데 일반적으로 사용되는 일차원 냉각장치 중 하나이다. 원자 발생장치에서 나오는 원자들을 한쪽 방향으로 진행하도록 정렬을 하면, 원자빔 방향으로 Boltzmann분포에 의하여 결정되는 속도분포를 갖는 원자들을 얻을 수 있다. 나트륨 원자의 경우에, 300 °C 정도의 원자빔 발생장치에서 발생하는 원자의 속도는 평균 1000 m/s 정도이며, 이 분포에서 포획깊이에 해당하는 원자수는 극히 적다. 따라서 원자가 진행하는 방향에 대하여 반대방향으로 진행하는 레이저광을 사용하여 포획깊이의 속도까지 원자속도를 감소시킨 뒤에 포획을 하면 포획하는 원자의 밀도를 높일 수 있다. 이 논문에서는 Zeeman 감속기를 사용하여 일차원 냉각한 나트륨 원자를 광자기 방법으로 포획한 결과를 발표한다. 포획된 원자에 대하여 레이저광의 주파수, 재펌핑 광의 주파수 의존성과 더불어 포획 특성에 대한 결과를 논의한다.

한쪽 방향으로 진행하는 원자빔을 그와 반대방향으로 진행하는 레이저광으로 감속시킬 때, 레이저광의 운동량이 원자에 전해지면서 생기는 도플러 이동의 변화를 상쇄시켜 주어야 한다. Zeeman 감속기의

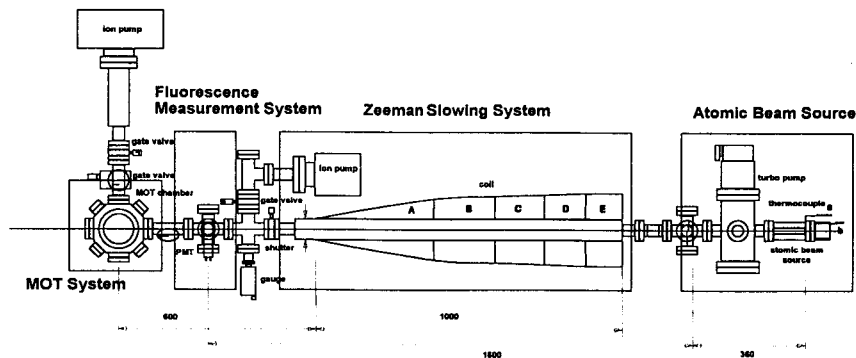


그림 1. 나트륨 원자를 포획하는 장치. 열적 평형상태에 있는 원자빔의 반대방향으로 감속광을 진행시켜 원자빔을 일차원 냉각시킨 뒤에 MOT 챔버에서 레이저광을 서로 수직인 여섯방향으로 입사시켜 원자들을 포획한다.

경우에는 공간적으로 다르게 분포된 자기장을 사용하여 원자 공명선의 에너지차이가 레이저광의 주파수와 같게 만들어준다⁽²⁾. 자기장이 작아지는 감속기의 끝단에서는 감속원자의 다른 초미세구조 공명선과 감속 레이저광의 주파수가 비슷하게 되어 다른 에너지 준위로 전이가 일어나게 되어, 결과적으로 감속에 사용하지 않는 F=1 기저준위로의 광펌핑이 일어나게 된다. 이러한 광펌핑 현상은 속도가 낮은 원자에 대하여 주로 일어나기 때문에, 포획깊이 이내에 드는 원자를 얻을 수 있다.

그림 1 은 Zeeman 감속기에서 냉각된 원자를 포획하는 장치를 보여준다. 나트륨 포획을 할 때, Zeeman 감속기에 사용하는 레이저광의 세기는 수 mW에서 100 mW를 사용하였으며, 포획광은 20 mW로 유지하였다. 재 펌핑광은 phase modulator를 통과한 뒤에 생성되는 sideband를 사용하였다. 포획 위치에서의 자기장의 기울기는 약 10 G/cm 이었다.

Zeeman 감속기로부터 원자의 공급율과 감속광을 차단했을 때 포획된 원자의 감쇠율은 각각 0.8 s와 0.95 s이었다. 그림 2 는 phase modulator의 주파수와 레이저의 주파수를 변화시켰을 때의 포획되는 주파수 영역을 나타낸다. 낮은 감속광 세기에서는 두 개의 포획되는 영역이 나타난다. 높은 주파수영역에서 포획된 원자는 감속광에 의하여 힘을 많이 받았으나, 작고 안정된 원자구름을 형성하였다 (type I). 낮은 주파수 영역에서 포획된 원자는 감속광의 영향을 거의 받지 않았고, 형성된 구름은 크고, 많은 원자가 포획되었다(type II). 위의 실험 결과로부터 type I과 type II에서의 포획광과 재펌핑광의 역할이 바뀌는 것을 알 수가 있다. 원자빔 발생장치의 온도가 300 °C일 때, 10⁸ 개의 원자가 포획되었고 밀도는 10¹¹ 개/cm³ 이었다. R&R 방법(release and recapture)으로 측정된 온도는 type I 포획에서는 200 μK이고 type II 포획에서는 440 μK이다.

Zeeman 감속기를 사용하여 속도가 낮은 원자를 포획 챔버에 공급하고, 이로부터 나트륨을 포획할 수 있었다. 이것을 원자간섭계에 사용하려면 원자개수가 많으면서 온도가 낮은 포획 원자를 얻어야 하며, 이를 위하여 감속기와 포획광의 의존성에 대한 연구를 계속할 예정이다.

참고문헌

1. Kasevich, M., and Chu, S. Appl. Phys. B. 54 321 (1992)
2. K. H. Ko, et al. J. Kor. Phys. Soc. (submitted)

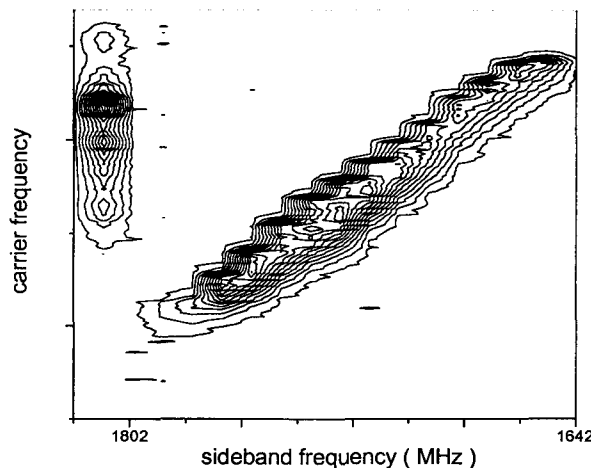


그림 2. phase modulator의 주파수와 레이저의 주파수를 변화시켰을 때의 포획되는 영역 (type II). 감속광의 세기 : 약 100 mW, 포획되는 영역: 약 150 MHz.

