

## 1차원 냉각된 Rb원자에서 고분해 분광

### Doppler free spectroscopy in the 1D-cooled Rb atom

배인호, 문한섭\*

부산대학교, 물리학과

hsmoon@pusan.ac.kr

일반적으로 증기 셀에서 알카리 원자의 초미세구조를 관측하는 방법으로 도플러 효과를 제거할 수 있는 포화흡수분광과 같은 방법을 사용하게 된다. 잘 알려진 것과 같이 원자를 냉각 포획된 상태에서는 도플러 효과가 거의 없기 때문에 흡수 스펙트럼을 측정하여 도플러 효과가 제거된 고분해 분광 스펙트럼을 얻을 수 있다<sup>(1-3)</sup>. 본 연구에서는 냉각된 원자에서 고분해 분광 아이디어를 증기 셀에서 조사광이 진행되는 방향과 일치하는 1차원 구도에서 원자 냉각 구도를 만들고 고분해 분광 연구를 수행하고자 한다. 원자가 1차원 냉각(cooling)되어진 상태에서 초미세구조를 측정하는 실험을 하기위하여 그림1과 같은 장치를 설치하였다.

포화흡수분광법(Saturated absorption spectroscopy)은 초미세 구조의 에너지 차이가 도플러 선폭확대(Doppler broadening) 보다 작은 경우에 도플러 효과를 제거하기 위해서 서로 반대방향으로 진행되는 펌프광과 조사광에 의해서 서로 다른 속도 성분의 원자들과 상호작용을 일으키는 경우가 발생하면서 실제로 존재하지 않는 주파수 위치에서 원자 고유의 전이선인 것처럼 보여지는 교차공진선(crossover resonance)을 만들게 된다. 이러한 현상은 펌프광과 조사광이 반대로 진행되는 포화흡수분광에서는 피할 수 없는 효과이다. 이에 반해서 냉각된 원자에서 분광 스펙트럼은 도플러 선폭확대 효과의 배경신호를 빼는 것이 아니라 원자 속도를 감소시켜 근본적으로 도플러 효과를 제거하여 분광을 수행하는 것이다<sup>(1)</sup>. 따라서 우리는 도플러 배경신호를 빼기하여 제거하는 방법을 쓰지 않고 1차원 냉각된 원자를 이용하여 근본적으로 도플러선폭확대 효과가 제거된 상태의 Rb원자에 대해 조사광을 진행시켜서 교차공진선이 없는 초미세구조 스펙트럼을 얻고자 하였다.

1차원 냉각된 원자에서 분광을 하기 위해서 그림 2와 같은 쿨링 레이저 (cooling laser)와 재펌핑 레이저 (repumping laser)를 이용하였다. 쿨링 레이저는 중심파장이 780 nm인 레이저를 이용하였다. 쿨링레이저의 주파수는  $^{87}\text{Rb}$ 원자의  $5S_{1/2}$  ( $F=2$ )  $\rightarrow$   $5P_{3/2}$  ( $F'=3$ ) 전이선에서 적색 주파수 이동된 레이저를 사용하였다. 재펌핑 레이저는 중심파장이 795nm인 레이저를 사용하였고, 레이저의 주파수는  $5S_{1/2}$  ( $F=1$ )  $\rightarrow$   $5P_{1/2}$  ( $F'=2$ )에 고정되었다. 우리는 1차원 쿨링이 원자에서 분광 스펙트럼을 얻기 위해서 조사광을 1차원 쿨링이 일어나는 방향으로 정렬하고, 주파수는  $^{87}\text{Rb}$  D1전이선  $5S_{1/2}$  ( $F=1$ )  $\rightarrow$   $5P_{1/2}$  ( $F'=1, 2$ ) 전이선 근처에서 조사하였다. 그림 3은 펌프광과 재펌핑광이 없는 상태에서 조사광의 흡수 스펙트럼을 관측했을 때,  $^{87}\text{Rb}$  원자의 D1 전이선에서 그림 3(a)와 같은 선형흡수 스펙트럼을 관측할 수 있다. 그림 3(b)는 조사광에서 얻은 전형적인 포화흡수분광 스펙트럼을 보여주고 있다. 1차원 냉각된 원자를 만든 상태에 조사광의 흡수 스펙트럼은 그림 4와 같이 도플러 효과가 제거된 흡수 스펙트럼을 얻을 수 있다. 1차원 냉각된 원자에서 측정된 흡수 스펙트럼은 그림 3의 선형흡수 스펙트럼 위에 도플러 효과가 없는 흡수 신호를 보여주고 있다. 이것은 증기 셀 내부에 원자 밀도가 높기 때문에 전형적인 레이저 냉각과 포획된 원자에서 얻은 흡수 스펙트럼과 다른 형태를 가지고 있다. 우리는 증기 셀을 외

부에서 냉각시키는 방법을 통해서 잔여 도플러 배경 신호를 줄이고, 1차원 냉각된 원자에서 원자결맞음 고분해 분광 스펙트럼에 대한 연구를 수행할 예정이다.

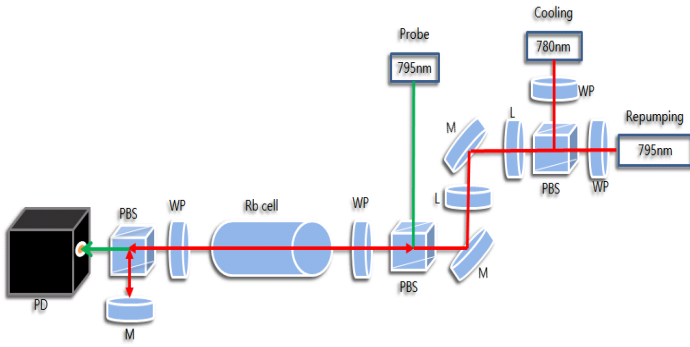


그림 1. 1차원 냉각된 상태의  $^{87}\text{Rb}$  원자에 대한 조사광의 흡수신호를 보기 위한 장치도

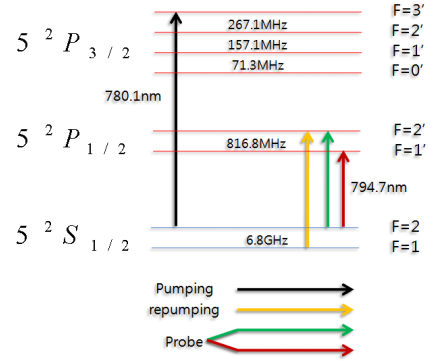


그림 2.  $^{87}\text{Rb}$  원자의  $5S_{1/2} \rightarrow 5P_{1/2}$  과  $5S_{1/2} \rightarrow 5P_{3/2}$  전이선의 에너지 구조도

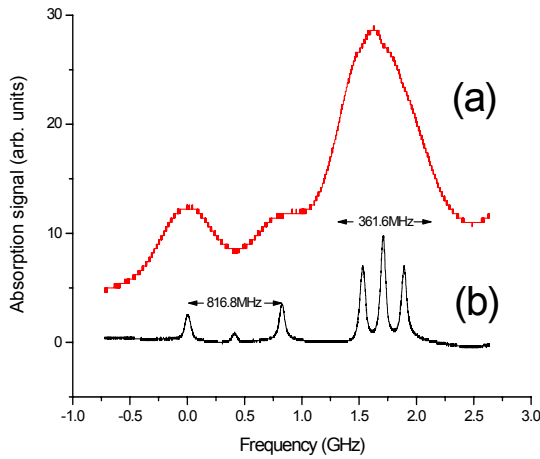


그림 3. 선형흡수 스펙트럼(a)과 포화흡수분광 스펙트럼(b)

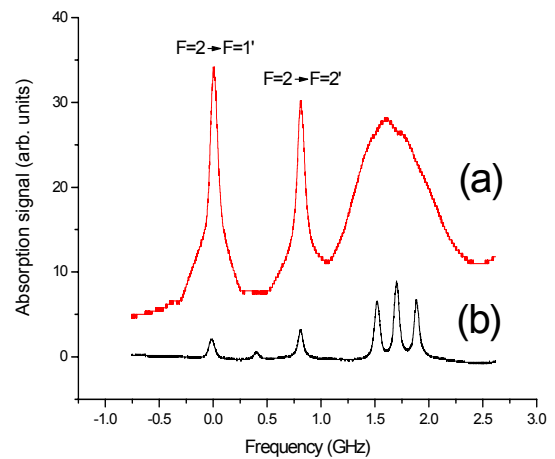


그림 4. 1차원 냉각된 원자의 흡수 스펙트럼(a)과 포화흡수분광 스펙트럼(b)

1. William D. Phillips, "Laser cooling and trapping of neutral atoms," Review of modern physics, Vol. 70, No. 3, pp. 721-741 (1998).
2. S. A. Hopkins, E. Usadi, H. X. Chen, A. V. Durrant "Electromagnetically induced transparency of laser-cooled rubidium atoms in three-level  $\lambda$ -type systems," Optics communications vol 1, No. 138, pp. 185-192 (1997).
3. J. Wang, L. B. Kong, X. H. Tu, K. J. Jiang, K. Li, H. W. Xiong, Yifu Zhu, M. S. Zhan "Electromagnetically induced transparency in multi-level cascade scheme of cold rubidium atoms," Physics Letters Vol. A, No. 328, pp. 437-443 (2004).