

포획된 루비듐 원자의 편광 분광학

Polarization Spectroscopy of Rubidium Atoms in MOT

박성중, 조 혁, 박종대*, 이호성**, 권택용**

충남대학교 물리학과, 배재대학교 물리학과*, 한국표준과학연구원**

time00@chollian.net

중성원자의 포획 및 냉각법은 최근 활발히 연구되고 있다^[1]. 중성원자의 효율적 포획법인 MOT(magneto-optical trap)의 사용은 고분해 분광학, 저온 충돌, 비선형 광학, 원자 광학 등의 연구에 큰 장점이 있다. MOT에 포획된 원자에 대한 분광학^[2]은 포획 원자의 특성 및 원자와 광의 상호작용을 이해하기 위한 기본이 된다.

편광 분광학(polarization spectroscopy)^[3]은 펄프광의 편광에 의해 유도된 굴절률의 변화를 관찰하는 분광법으로 그 원리는 다음과 같다. 편광 분광학은 펄프광과 검출광의 편광 조합에 따라 선편광 편광 분광학과 원편광 편광 분광학으로 구분되어진다. 펄프광에 의해 원자의 Zeeman 부준위 사이의 비균일한 밀도 분포가 유도되며, 광의 편광 성분에 따른 비등방 매질이 형성된다. 선편광인 검출광이 펄프광에 의해 특성화된 비등방성 매질을 통과할 때 검출광의 편광 성분에 대한 선택적 흡수 때문에 검출광의 편광이 변하게 된다. 한편, 매질의 복소 굴절률은 $\tilde{n} = n + ik$ 로 표현할 수 있으며, 광의 주파수 변화에 따라 n 이 변화하는 복굴절(birefringence)과 k 가 변화하는 이색성(dichroism) 현상을 가져 온다. 복굴절(birefringence)과 이색성(dichroism)의 측정은 매질을 통과한 검출광이 편광판을 지나도록하고 편광판의 각도에 따른 검출광의 흡수 신호를 관찰함으로써 가능하다.

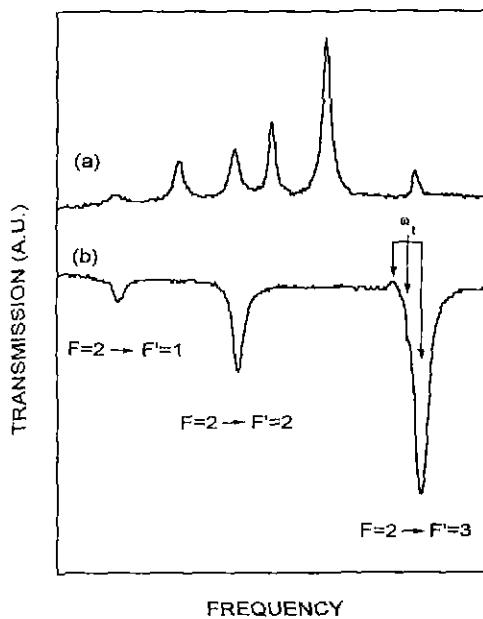
MOT로 루비듐-87 원자를 포획하였다. 포획광의 주파수는 $(5^2S_{1/2}, F = 2) \rightarrow (5^2P_{3/2}, F' = 3)$ 순환 전이선을 사용하였으며, 각 빔은 지름이 1 cm, 세기는 4 mW였다. 포획 원자에 대한 분광을 위해 지름이 0.5 mm이고 세기는 수 μ W인 검출광을 사용하였다. 포획된 원자에 대한 흡수 신호는 포화 흡수 분광 신호([그림 1], (a))와 달리 원자의 열운동에 의해 나타나는 교차공진선이 제거되고 주공진선만 관측된다([그림 1], (b)). 포획된 원자는 포획광 속에 있게 되므로 포획광과 상호작용에 의해 dressed state가 형성되고 흡수신호는 복잡한 형태를 나타낸다. 즉, 포획 원자에 대해 흡수 신호 중 $F = 2 \rightarrow F' = 3$ 에 해당하는 신호는 포획광 주파수(ω_l)를 중심으로 좌우 대칭이고 각각 일반화된 Rabi 주파수(\mathcal{Q})만큼 떨어진 위치에서 나타나는 흡수 신호와 증폭 신호를 관찰할 수 있다. 뿐만 아니라 포획광 주파수(ω_l) 위치에 형성되는 분산신호를 볼 수 있다([그림 1], (b))^[2].

원자를 포획하기 위해 사용되는 포획광은 펄프광 역할을 하기 때문에 포획된 원자를 대상으로 편광 분광 실험이 가능하다. 선편광의 검출광이 포획된 원자를 통과한 후 입사 검출광의 편광방향에 수직으로부터 θ 만큼 기울어진 편광판을 통과하도록 한다. 이 때 검출광의 세기를 광검출기로 측정한다. $\theta = 0$ 인 경우 공진주파수의 검출광이 매질을 지날 때 타원편광이 생겨 편광판을 투과하게 되고, 공진주파수로부터 멀어지면 편광의 변화가 없기 때문에 편광판을 통과하지 못한다. 이에 따라 공진 주파수 부근에서 공진 신호가 발생하는데, 복굴절과 이색성 효과의 조합에 의해 Lorentzian에 가까운 모양이 나타난다([그림 2], (a)). θ 가 커질수록 스펙트럼은 [그림 1]의 (b)의 흡수 스펙트럼에 가까운 형태가 된다. [그림 2]에서 (b), (c)는 편광판의 각도(θ)가 매우 작을 때의 스펙트럼이며, 포획광의 주파수인 $F = 2 \rightarrow F' = 3$ 신호에서 검광기의 각도(θ)에 따라 서로 반대 방향의 분산 형태의 신호가 형성된 것을 볼 수 있다($0 < |\theta_x| < |\theta_y| < 5^\circ$).

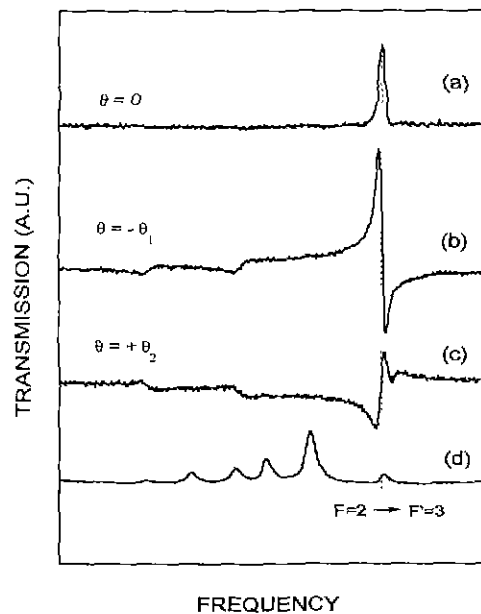
포획 원자의 분광신호로부터 포획원자의 상태를 확인하였으며, 다양한 분광신호를 관찰할 수 있었다. 특히 분산 형태의 스펙트럼은 편광분광법으로 얻을 수 있을 뿐 아니라 포획 원자를 통과하면서 굴절된 검출광의 일부분을 검출함으로써 얻을 수 있었으며, 이와 같은 분산 형태의 신호는 포획된 원자의 굴절을 변화에 의한 결과로 해석된다.

참고문헌

- [1] J. Opt. Soc. Am. B 6 (1989), Special Issue on Laser Cooling and Trapping of Atoms, edited by S. Chu and C. Wieman.
- [2] D. Grison, B. Lounis, C. Salomon, J. Courtois and G. Grynberg, Europhys. Lett. 15, (1991) 149
- [3] C. Wieman and T. W. Hänsch, Phys. Rev. Lett. 36, 1170 (1976)



[그림 1] MOT에 포획된 원자의 흡수 스펙트럼. (a) 레이저 주파수 모니터링을 위한 포화 흡수 스펙트럼, (b) 포획원자의 흡수 스펙트럼.



[그림 2] MOT에 포획된 원자의 편광 스펙트럼. (a)-(c) 편광각도(θ)에 따른 편광 스펙트럼($0 < |\theta_2| < \theta_1 < 5^\circ$), (d) 레이저 주파수 모니터링을 위한 포화 흡수 스펙트럼.

