

연속적이고 느린 원자빔 발생

Continuous Slow Atomic Beam Generation

박상언, 조혁, 양성훈*, 권택용*, 이호성*

충남대학교 물리학과, *한국표준과학연구원 전자기연구부

e-mail: parkse@kriss.re.kr

원자빔은 분광학, 원자시계 개발 등 많은 분야에서 응용되고 있다. 보통 열원자빔의 평균 종속도는 수백 m/s 정도이고 속도폭도 수백 m/s 정도로 넓다. 원자빔의 속도와 속도폭을 줄임으로서 고정밀 분광학, 고정밀 원자시계 개발, 원자광학, 원자 간섭계 등의 연구가 가능해진다.

최근 레이저광을 이용하여 원자를 조작하는 연구가 세계적으로 활발히 진행되고 있고 이를 바탕으로 많은 응용연구를 하고 있다.

레이저의 광압을 이용하여 열원자빔의 속도를 줄일때 속도가 줄어든 원자들과 레이저의 주파수가 계속 공진되도록 하기 위해 원자빔의 종속도 변화에 따른 도플러 이동을 보상해 주어야 한다. 이러한 방법에는 레이저의 주파수를 시간적으로 변화시키는 주파수 chirping 방법, 공간적으로 자장의 세기를 변화시키는 Zeeman tuning 방법, 레이저의 위상변조나 mode locking으로 레이저의 스펙트럼을 넓게 만든 White light 방법⁽¹⁾ 등이 있다.

주파수 chirping 방법으로는 필스형 저속 원자빔이 만들어지고, Zeeman tuning 방법에서는 연속적으로 저속 원자빔이 발생되지만 강한 자장을 만들기 위한 장치가 복잡하다. White light 방법에서는 임의의 속도를 가진 원자들이 동시에 힘을 받기 때문에 속도분포의 압축효과가 작아 위의 두 방법에 비해 원자빔의 속도폭이 넓고 효율이 낮다는 단점이 있다.

White light의 이러한 단점을 극복하기 위해 Hoffnagle⁽²⁾ 은 원자빔의 진행방향으로 또 다른 단일 주파수의 레이저를 쏘아 원자빔을 압축하여 속도폭이 좁은 저속 원자빔의 발생을 제안하였고, Na 과 Yb 원자빔에 대한 실험⁽³⁾이 이루어졌다.

본 실험에서는 Cs 원자빔에 Hoffnagle이 제안한 방법을 적용하여 연속적이고 느린 원자빔을 발생시켰다. 원자 냉각용으로 Cs 원자의 전이선 ($6^2S_{1/2}$, $F=4 \rightarrow 6^2S_{3/2}$, $F'=5$)에 맞추어졌고 원자의 재핍평을 위해 9.2 GHz EO modulator에서 발생된 side mode를 이용하였다

실험장치도는 그림 1과 같다. broadband용 레이저로는 출력 150 mW SDL DBR 반도체 레이저를 사용하였고, push 레이저용으로는 출력 150 mW인 SDL 반도체 레이저를 grating feedback으로 선폭을 축소하여 사용하였다. 검출레이저로는 출력 5 mW인 Yokogawa DBR 반도체 레이저를 사용하였다. broadband용 레이저를 위해 레이저의 주파수를 11.3 MHz EO modulator로 위상 변조하여 sidemode를 만들었는데, 이때 펼쳐진 주파수는 속도로 환산하면 60 m/s 에 해당한다.

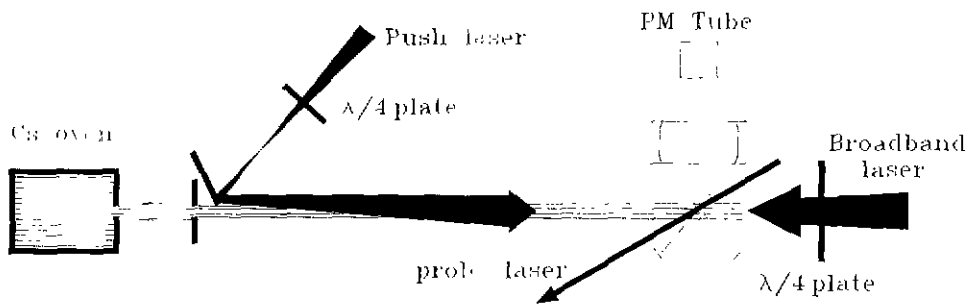
진공 챔버로 입사되는 broadband 레이저의 최종 출력은 약 70 mW 이고 Cs 오븐의 구멍에 집속시켰다. 단일모드의 push 레이저는 Cs 오븐 근처에 설치된 반사경을 이용하여 원자빔의 진행방향으로 진행시켜 원자빔과 겹치도록 하였다. Cs 오븐에서 반사경까지의 거리는 약 9 cm 이고, PM tube가 있는 속도분포 측정장치까지의 거리는 약 93 cm 이다.

검출레이저는 원자빔의 진행방향에 대해 150 도 기울여 입사시켜 원자와 상호 작용한 후 발생된 형광을 두 개의 렌즈와 한 개의 곡면 반사경을 이용하여 PM tube에 집속하였다. 이때 검출레이저의 주파수에 따른 형광의 세기를 이용하여 속도분포를 측정하였다.

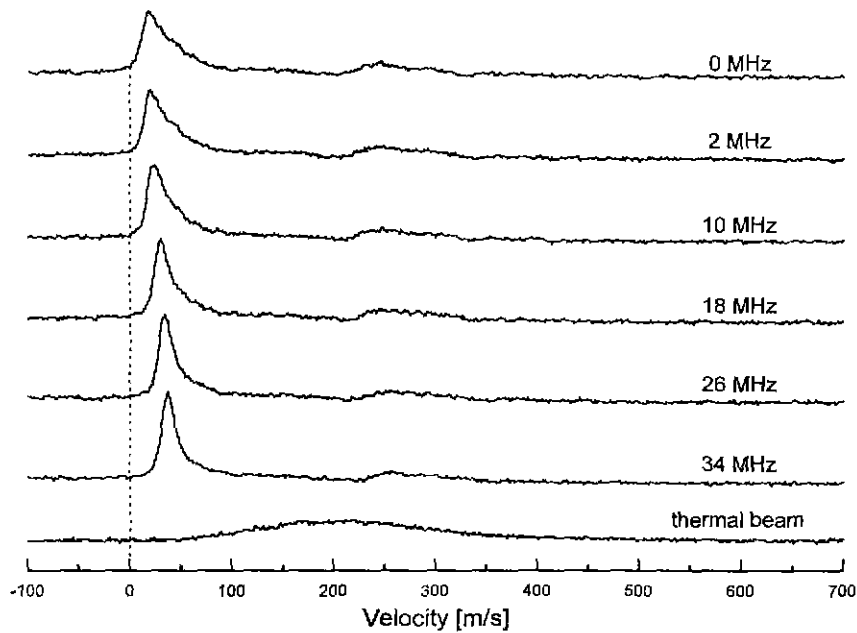
그림 2는 push 레이저의 detuning에 따라 저속 원자빔의 속도분포가 변하는 것을 보여준다. 이때 push 레이저의 출력은 3.6 mW이다.

[참고문헌]

1. Yat Chan and Natarajan D. Bhaskar, "Cooling of cesium atomic beam with light from spectrally broadened diode lasers", J. Opt. Soc. Am. B 12, 2347-2351 (1995)
2. J. Hoffnagle, "Proposal for continuous white-light cooling of an atomic beam", Opt. Lett. 13, 102-104 (1988)
3. M. Zhu, C. W. Oates and J. L. Hall, "Continuous High-Flux Monovelocity Atomic Beam Based on Broadband Laser-Cooling Technique", Phys. Rev. Lett. 67, 46-49 (1991)



[그림 1] 연속이고 느린 원자빔 발생 장치도.



[그림 2] Push laser의 주파수 detuning에 따라 측정된 저속 원자빔의 속도분포 변화.