

냉각된 세슘 원자와 결합-조사광 상호작용에 기인한 신호의 관측

Observation of spectra due to interactions between cold Cs atoms and pump-probe lasers

김경대, 김수경, 문한섭*, 이충희, 김중복
한국교원대학교 물리교육과, *한국표준과학연구원
narin@blue.knue.ac.kr

광자기 포획에 의해 원자를 냉각시킴으로써 원자와 레이저 광 사이의 상호작용에 대해서 보다 깊이 있고, 정확하게 조사할 수 있게 되었다. 특히 원자 에너지준위들과 레이저광들에 의해 유도된 원자 결맞음 상호작용에 기인한 양자 간섭현상은 매우 흥미롭고 다양한 결과들을 보여주는데, 전자기 유도 투과 (Electromagnetically induced transparency ; EIT)와 결맞음 밀도 포획(Coherent population transfer ; CPT), 그리고 전자기 유도 흡수(Electromagnetically induced absorption ; EIA) 등이 집중적으로 연구되고 있다. 전자기 유도 투과 현상과 관련해서는 여러 가지의 많은 응용가능성이 제시되고 탐구되고 있다. 그 예를 보면, 냉각된 원자를 이용하여 결맞는 매질을 만들면, 빛을 매우 느리게 진행시킬 수 있었고, 심지어는 이들 매질에서 일시적으로 정지시키는 것이 가능하기도 하다. 그리고 전자기 유도 흡수 현상의 경우에 있어서는 매우 급격하고, 자연선폭 보다 좁은 선폭의 흡수 신호를 얻을 수 있고, 이로 인해 급격한 굴절률의 변화로부터 고감도 자기장 검출장치로의 응용가능성이 제안되었으며, 음의 분산 값을 갖는 매질의 특성으로 인해 진공에서의 광속보다 빠르게 진행하는 광의 실현 가능성을 제시하였다. 또, 이들 광속 제어에 관한 연구 결과로부터 결맞는 광 정보 저장의 가능성을 제시하기도 했다.

전자기 유도 투과와 전자기 유도 흡수 현상을 냉각된 원자에서 수행하기 위해서 한 쌍의 Anti-Helmholtz coil과 6-방향에서 입사하는 원편광된 레이저를 사용한, 광자기 포획 방법으로 세슘 원자를 냉각 및 포획하였다. 그리고, 포획된 원자구름의 중앙으로 약한 조사광을 입사시키고, 통과한 조사광을 광검출기로 측정하였다. 이 때 조사광의 주파수는 $F=4 \rightarrow F'=3$ 으로부터 $F=4 \rightarrow F'=5$ 까지 변화시켰다. 그림 1은 포획된 원자구름을 통과한 조사광의 흡수스펙트럼이다. 냉각 광의 주파수는 -16 MHz 부근으로 편이되어 있는데, 그림에서 화살표의 위치에 해당하며 이 주파수에서 분산형의 흡수 신호를 나타내고 있다. 이러한 급격한 분산형의 신호는 냉각광이 $F=4 \rightarrow F'=5$ 에서 음으로 편이된 주파수의 결합광으로 작용하고, 조사광이 $F=4 \rightarrow F'=5$ 인 에너지 구도에서 발생하는 원자 결맞음에 기인한 신호이다.

그림 2는 냉각된 세슘 원자에서 전자기 유도 투과(EIT)를 관측하기 위해 적용한 실제 에너지 준위와 구도를 나타낸다. 원자 포획을 위한 제편평광의 주파수는 $F=3 \rightarrow F'=4$ 부근이며, 냉각광은 $F=4 \rightarrow F'=5$ 에서 약 -16 MHz 만큼 편이 되어있다. 그리고, 결합광의 주파수가 $F=3 \rightarrow F'=3$, 조사광의 주파수가 $F=4 \rightarrow F'=3$ 인 A-형 에너지 구도에서 전자기 유도 투과 신호가 관측된다.

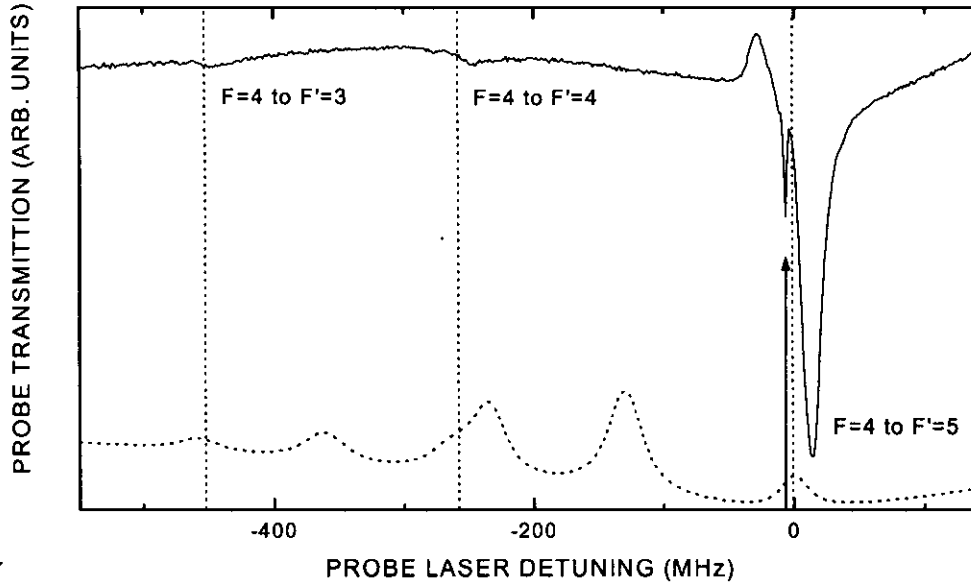


그림 1. 냉각된 세슘 원자의 조사광($F=4 \rightarrow F'=3,4,5$) 흡수 신호(실선). 냉각광의 주파수는 화살표에 의해 표시된 만큼 편이($\Delta = -16$ MHz)되어 있다. 세로 방향의 세 개의 직선 점선은 흡수 주파수를 나타낸다. 아래의 스펙트럼(점선)은 조사광의 포화흡수 신호이다.

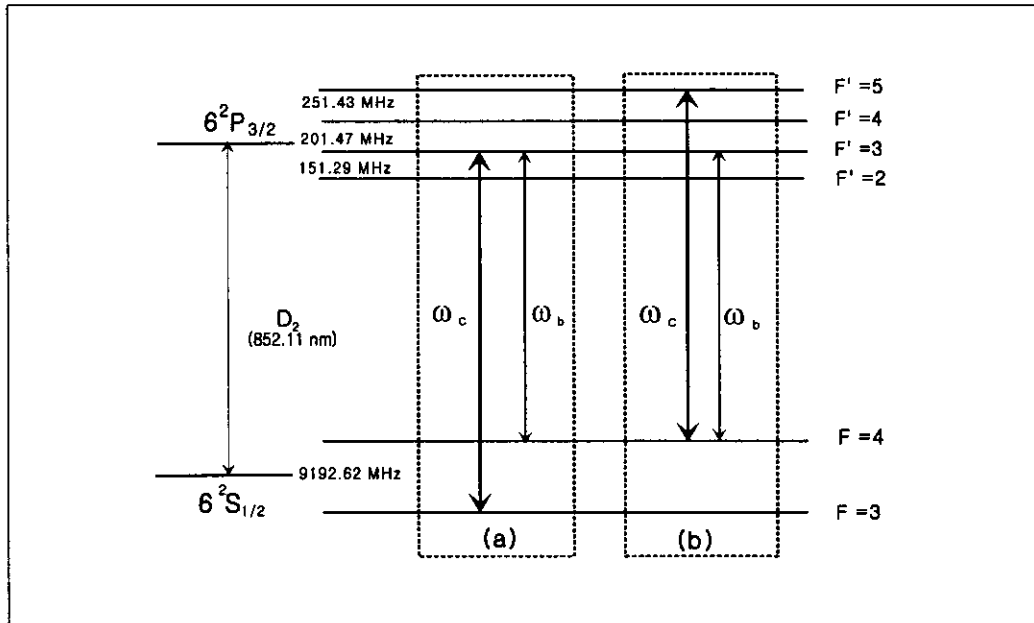


그림 2. EIT를 위한 에너지 구조. A-형 구조(a), V-형 구조(b).

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 (과제번호: 2000-1-11100-001-2)의 지원으로 수행되었습니다.