

사다리형 전자기 유도 투과에서의 초미세 구조

Electromagnetically Induced Transparency with Hyperfine Structure

문한섭*, 이림, 이원규*, 서호성*, 김중복
*한국표준과학연구원, 한국교원대학교 물리교육과
hsmoon@kriss.re.kr

전자기 유도 투과(electromagnetically induced transparency ; EIT)^[1]는 원자의 공명 진동수를 갖는 조사광이 원자 매질을 통과할 때, 강한 결합광에 의한 효과로 매질에 흡수되지 않고 투과하는 양자 간섭 효과로써 원자결맞음 현상의 가장 대표적인 현상 중의 하나이다. EIT 현상은 Boller 등에 의해서 고출력 펄스 레이저를 이용하여 Strontium 증기에서 처음 관측된 이후, 여러 가지 원자와 분자의 증기 셀, 원자 빔, 고체, 냉각된 원자, 그리고 BEC(Bose Einstein condensate)상태에서 다양한 연구들이 이루어지고 있다. 최근에는 이러한 EIT 현상을 바탕으로 광정보 저장 및 광통신 스위치 개발과 같은 응용에 대한 연구들이 활발히 진행되고 있다.

EIT에 대한 연구는 3준위 원자계를 기본으로 한 Λ , V, 사다리형(ladder)형 구도에서 활발히 진행되고 있다^[2]. 특히, 사다리형 EIT는 조사광과 결합광의 방향이 서로 반대방향으로 진행하는 구도를 가질 때 이광자 결맞음 조건을 만족시킬 수 있다. 이러한 이유로 사다리형 EIT에 대한 연구는 Λ 형과 V형 EIT와는 달리 결합광과 조사광의 분리가 쉽기 때문에 조사광의 EIT효과를 측정하는 것이 용이하다. 또한, Λ 형과 V형 EIT는 조사광에서 결합광을 분리하기 위해서 조사광과 결합광의 편광이 서로 수직한 선편광이나 반대방향으로 회전하는 원편광으로 한정하여 사용할 수밖에 없지만, 사다리형 원자계의 경우는 모든 편광 조합에서의 EIT 효과에 대한 연구가 가능하다.

일반적으로, 증기 셀에서의 사다리형 EIT 연구에서는 여기준위의 초미세 준위들 사이의 에너지 간격이 원자들의 속도 성분에 의한 도플러 확대폭 보다 좁기 때문에 이러한 효과를 고려해야만 한다. 그러나 대부분의 연구에서는 EIT스펙트럼에서 초미세 준위의 분리를 관측하기 어려웠기 때문에 이러한 초미세준위 효과를 고려하지 않고 단순한 3준위 원자계로 취급해왔다^[3]. 그리고 초미세 준위 효과가 포함된 EIT 연구결과에 있어서도 넓은 EIT 선폭 때문에 EIT 스펙트럼 상에서 초미세 준위의 분리가 완전히 일어나지 못하고 있다^[4].

본 논문에서는 그림 1과 같이 ^{85}Rb 과 ^{87}Rb 원자의 $5S_{1/2}$ - $5P_{3/2}$ - $5D_{3/2}$ 전이선을 이용하여 초미세 구조를 가진 사다리형 EIT 현상에 대한 연구를 수행하였다. 우리는 낮은 출력의 결합광을 렌즈를 사용하지 않고 EIT 실험에 이용함으로써 사다리형 EIT 구도에서 EIT 스펙트럼의 선폭을 축소시킴으로써 그림 2와 같이 초미세 준위에 의한 분리가 일어난 EIT 스펙트럼을 관측할 수 있었다. 이때 측정된 EIT 스펙트럼의 선폭은 6.5 MHz로 측정되었다. 이러한 스펙트럼의 선폭은 조사광과 결합광 레이저의 선폭과 여기준위에서의 자연선폭을 고려하여 얻은 한계선폭에 해당한다. 관측된 EIT 스펙트럼의 초미세 준위 간격은 $5D_{3/2}$ 전이선의 초미세 준위의 에너지 간격과 일치하였다. 조사광과 결합광의 편광성분에 따라서 전이률의 변화가 있기 때문에 초미세 준위를 갖는 EIT 스펙트럼의 변화가 발생된다. 본 논문에서는 이러한 편광변화에 따른 EIT 스펙트럼의 변화를 측정하고 이를 이론결과와 비교하였다.

본 연구결과는 사다리형 구도를 갖는 EIT 현상들에 대한 이해와 함께 원자결맞음 현상에 대한 다양한 이해에 도움이 될 것으로 생각된다.

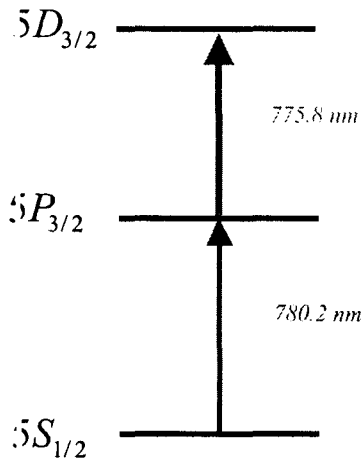


그림 1 사다리형 EIT 구도

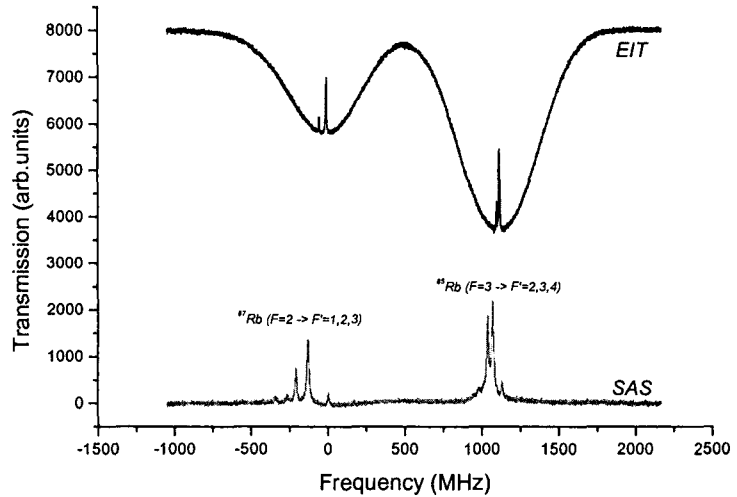


그림 2 Rb 원자를 이용한 사다리형 구도에서의 EIT 스펙트럼

[참고문헌]

- [1] S. E. Harris, "Electromagnetically induced transparency", Phys. Today, vol. 50, no. 7, pp. 36-42 (1997).
- [2] David J. Fulton, Sara Shepherd, Richard R. Moseley, Bruce D. Sinclair, and Malcolm H. Dunn, "Continuous-wave electromagnetically induced transparency: A comparison of V, Lambda, and cascade systems", Phys. Rev. A vol. 52, no. 3, pp. 2302-2311 (1995).
- [3] J. Gea?Banacloche, Y. Li, S. Jin, and M. Xiao, " Electromagnetically induced transparency in ladder-type inhomogeneously broadened media: Theory and experiment", Phys. Rev. A, vol. 51 no. 1, pp. 576-584 (1995).
- [4] S. D. Badger, I. G. Hughes and C. S. Adams, "Hyperfine effects in electromagnetically induced transparency", J. Phys. B, vel. 34, pp. L749-L756 (2001).