

# $^{87}\text{Rb}$ D<sub>1</sub> 전이선에서 자발적 원자결맞음 전이 효과

## Effect of Spontaneous Atomic Coherence Transfer in $^{87}\text{Rb}$ D<sub>1</sub>-line

이충희, 김수경, 박현덕, 김경대, 권미량, 문한섭\*, 김종복  
한국교원대학교 물리교육과, \*한국표준과학연구원 정보통신표준센터  
\*hsmoon@kriss.re.kr

결맞음 광원과 원자의 상호작용에서 원자의 에너지 준위간에 원자 결맞음(atomic coherence)이 발생함으로써 많은 새로운 현상들이 나타난다. 이러한 예로, 원자의 전이 주파수와 같은 공명 진동수를 갖는 레이저광이 입사했을 때 매질에 흡수되지 않고 투과가 일어나는 전자기 유도 투과( electromagnetically induced transparency ; EIT )<sup>[1]</sup>와 흡수가 증가되는 전자기 유도 흡수(electromagnetically induced absorption ; EIA )<sup>[2]</sup>, 결맞음 밀도포획(Coherent Population Trapping)<sup>[3]</sup>, 밀도반전 없는 레이저(lasing without inversion ; LWI )<sup>[4]</sup>, 원하는 에너지 준위로의 완전 확률 밀도 전송( complete population transfer) 와 같은 새로운 현상들이 있다. 그리고, 원자 결맞음을 이용한 이러한 현상들을 이용한 다양한 응용가능성에 대한 연구들이 진행되고 있다. 특히, 최근에 EIT를 이용한 광정보 저장 및 광통신 소자 개발은 많은 주목을 받고 있는 연구들이다. 그러나, 상대적으로 EIA현상에 대한 연구 및 응용에 대한 연구는 매우 미미한 상태에 있다. 본 연구에서는 EIA 현상을 일으키는 원인이 되는 자발적 원자결맞음 전이(Spontaneous coherence transfer)가 원자결맞음에 미치는 영향에 대해서 밝히고자 한다.

EIA 현상에 대한 연구는 Akulshin과 그의 공동연구자들에 의해 처음으로 관측되었다. 그들은  $^{85}\text{Rb}$  D2 전이선에서 수행한 실험 결과와 수치계산에 대한 결과를 보고 하고 있다<sup>[4]</sup>. 실험적 관측과 수치계산을 통하여 그들은 EIA가 일어나기 위한 조건 3가지 조건을 제시하였다: (i) 여기준위의 총각운동량이 바닥준위 보다 커야한다. ( $F_e=F_g+1$ ;  $F_g$ 와  $F_e$ 는 각각 바닥준위와 여기준위의 총각운동량이다); (ii) 바닥준위는 축퇴되어 있어야 한다; (iii) 바닥준위에서 여기준위로의 전이는 닫힌 전이어야 한다. 일반적으로 이러한 조건을 만족하기 위해서 알카리족의 원자의 D2 전이선 중에서 cycling transition을 사용하게되는데, 이것은 EIA를 관측할 수 있는 전이선이 한정되어 있으므로 의미하고, 이러한 문제는 다양한 원자결맞음 현상을 관측하는데 제한을 주게된다.

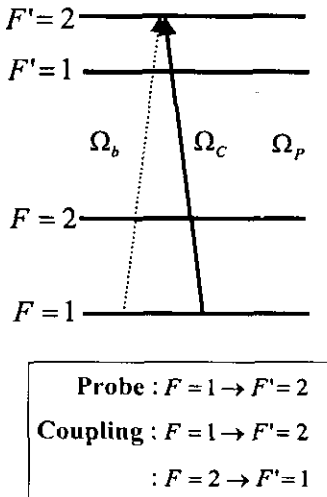
본 연구에서는 Rb D<sub>1</sub> 전이선( $F=1 \rightarrow F'=2$ )을 이용하여 열린 원자계에서 원자결맞음 효과를 밝히고자 한다. EIA 조건에서 원자계가 닫혀있어야 하는 이유는 원자들이 다른 준위로 빠져나가지 않고 닫혀있을 때 여기준위에 원자밀도가 존재할 확률이 커지고, 여기준위의 원자결맞음이 바닥준위의 원자결맞음으로 최대로 전이될 수 있기 때문이다. 그림 1은  $^{87}\text{Rb}$  D<sub>1</sub> 전이선의 에너지 구도를 보여준다. 여기서  $\Omega_b$ ,  $\Omega_c$ , 그리고  $\Omega_p$ 는 각각 조사광, 결합광, 그리고 펌프광의 라비주파수이다. 그림 1에서 보는 것과 같이 D<sub>1</sub> 전이선을 사용하는 경우에 결합광과 조사광에 의해서 여기된 원자들이 EIA 구도와 관계없는 다른 바닥준위( $F=2$ )로 자발방출이 일어나기 때문에 원자계는 열린 상태에 있고,  $F=2$ 로 전이되는 정도는 0.5 ( $F'=2 \rightarrow F=2$ 의 전이률)에 해당한다. 이러한 상황에서는 수치계산 결과에 의하면 EIA 현상이 나타나지 않고, 오히려 매우 약한 EIT 현상이 나타난다. 그러나, 본 연구에서는 조사광과 결합광의 라비진동수가 비슷



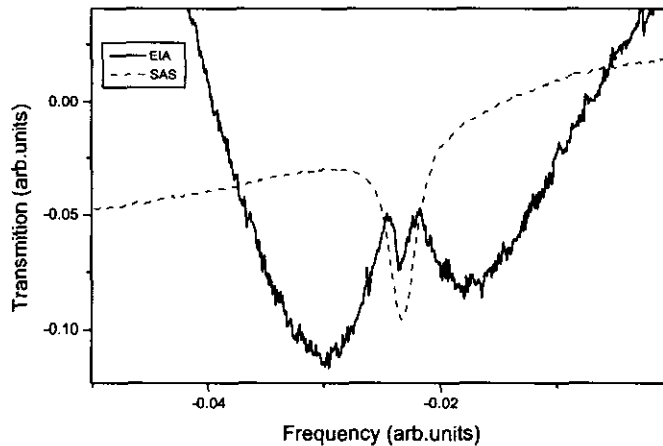
한 상황에서 그림 2와 같은 EIA 현상을 관측했고, 밀도행렬 방정식을 이용한 이론 결과에서 실험결과와 일치하는 결과를 얻을 수 있었다.

실험을 위해서 본 연구진에 의해서 수행된 바 있는 EIT와 EIA 실험장치를 이용하였다.<sup>[2, 3]</sup> 결합광과 조사광은 빔분리기에 의해서 완전히 합해진 후 같은 방향으로 진행하면서 Rb원자 증기 셀을 통과한다. 조사광과 결합광의 편광은 편광빔분리기(PBS)에 의해서 합해지는 과정에서 서로 수직한 선편광이 된다. 원자와 상호작용을 한 조사광과 결합광은 선형편광기에 의해서 조사광만이 광검출기에 도달하도록 만든다. 그리고 광펌핑용 펌핑광은 비스듬한 각도로 원자 증기셀에 입사하도록 만든다. 원자 증기셀 내에서 세 광(조사광, 결합광, 그리고 펌핑광)이 모두 겹쳐질 수 있도록 정렬을 한다. 펌핑광의 세기에 의해서 결정되는 광펌핑 효과를 조절하기 위하여 ND filter를 사용하여 펌핑광의 세기를 조절한다.

바닥준위  $F=2$ 로 온 원자들을 펌핑광을 사용하여  $F=1$ 로 펌핑을 하게되면, EIA 구도에 관련된 계( $F=1, F'=2$ )로 자발 방출에 의해 원자들이 이동할 확률이 커진다. 이러한 이유로 펌핑광의 세기를 조절함으로써 원자계의 열린 정도를 조절할 수 있을 것으로 생각할 수 있다. 광펌핑을 사용했을 때  $F=1$ 에서  $F=2$ 로 원자들을 전이시킬 수 있지만, 광펌핑에 의해서 전이된 원자들이 자발적 원자결맞음 전이에 어떤 영향을 줄 수 있는지에 대해서 알 수 없다. 본 연구에서는 광펌핑의 세기를 조절하여 계의 열린 정도 조절함으로써 EIA현상을 일으키는 자발적 원자결맞음 전이에 어떤 영향을 줄 수 있는지 밝힐 수 있을 것이다.



[그림 1]  $^{87}\text{Rb}$   $D_1$ 전이선의 에너지 구도



[그림 2]  $^{87}\text{Rb}$   $D_1$ 전이선의 EIA 스펙트럼

참고문헌

[1] S.E.Harris, Phys. Today 50 (7), 36 (1997).  
 [2] E.Arimondo, Prog. Opt. XXXV, 257 (1996).  
 [3] A. M. Akulshin, Phys. Rev. A 61, 013801(1999).  
 [4] H. S. Moon, Y. S. Choe, H A Kim, K. D. Kim, and J. B. Kim, Jpn. J. Appl. Phys, 39, 301-305(2000).