

포화 흡수 분광을 이용한 ^{85}Rb D_1 선에서 Zeeman 효과

Zeeman effects in ^{85}Rb D_1 line using a saturation spectroscopy

노종우, 문한섭*, 강만일, 류지욱

공주대학교 물리학과,

*한국표준과학연구원 광기술표준부

jwnho@kongju.ac.kr

포화 흡수 분광(saturation spectroscopy)은 조사하려는 매질에 서로 다른 반대 방향으로 진행하는 펄프광과 조사광을 보내어 펄프광의 주파수가 원자의 에너지 준위로 공진될 때 매질 내에서의 조사광의 흡수가 달라지는 현상을 이용하는 고분해능 분광학이다.⁽¹⁾ 바닥상태에 2개 이상의 에너지 준위가 존재하는 원자의 경우에는 약한 펄프광을 이용하여 원자의 비등방성을 일으킬 수 있는데 이는 펄프광이 원자들을 바닥상태의 다른 에너지 준위로 이동시켜 바닥 준위들에 밀도를 변화시키기 때문이다.

반면에 광펌핑 포화분광(saturation spectroscopy with optical pumping)에서는 공진에너지 준위의 하 준위에 있던 원자들이 펄프광과 자발방출 과정을 통해 바닥 상태에 있는 다른 에너지 준위로 이동되어 즉, 광펌핑이 발생하여 포화분광에서의 포화와 같은 효과가 발생한다.⁽²⁾ 이 방법에서는 강한 레이저광이 필요 없고 약한 레이저광을 장시간 비춤으로써 이 효과를 얻을 수 있다. 그런데 알칼리 금속원소(Li, Na, K, Rb, Cs)의 경우, 들뜬 상태에서 수명이 짧고(루비듐-87의 경우는 27 ns), 원자가 레이저 빔을 가로지르는데 걸리는 시간은 대개 수 μs 이상이 소요되기 때문에 특별한 장치가 없더라도 이 현상이 나타난다.

광펌핑 포화분광은 바닥 상태에 2개 이상의 에너지 준위가 존재하는 원자에 대해서 적용된다. 그런데 알칼리 금속원소들은 원자핵의 스핀(I)이 0이 아니고, 최외각 전자가 한 개이기 때문에 바닥상태(L=0)에는 원자핵과 전자(s=1/2)의 각운동량의 결합(I \pm s)에 의해 두 개의 초미세 준위가 존재한다. 그래서 알칼리 금속은 광펌핑 포화 분광의 매질로 많이 사용되고 있다.

한편 이론적인 신호를 구하기 위하여 Nakayama는 하준위 2개와 상준위 2개로 구성된 4준위 원자모델에 약한 펄프광을 이용하여 한 주기의 광펌핑만을 가정한 4준위 광펌핑 이론⁽³⁾을 제시하였다. 광펌핑 이론은 광펌핑의 한 주기만을 고려하기 위해서 펄프광의 세기가 충분히 작아서 펄프광에 의해서 여기된 원자는 유도방출은 하지 않고 자발방출만 가능하다는 가정을 하고, 4가지의 전이 형태를 고려하였다. 이때 펄프광과 조사광이 같은 준위에서 전이가 일어나는 I형태의 주공진선과 펄프광과 조사광이 서로 다른 준위에서 전이가 일어나는 N, V, Λ 형태의 '교차 공진선' 발생한다.

포화분광을 이용하여 ^{87}Rb D_2 선에 대하여 약한 자기장하에서 Zeeman 효과를 측정하고 실험결과를 Nakayama이론과 비교한 연구들이 있었고, 그 결과 실험과 이론에서 약간의 차이가 발생하였다.⁽⁴⁾ 우리는 ^{85}Rb D_1 선에서 광펌핑 포화분광을 이용하여 Zeeman 효과를 측정하였는데 그림2에서 보는 것과 같이

주공진선에서는 신호가 비교적 이론과 잘 일치하지만 교차공진선에서는 이론과 일치하지 않는다.

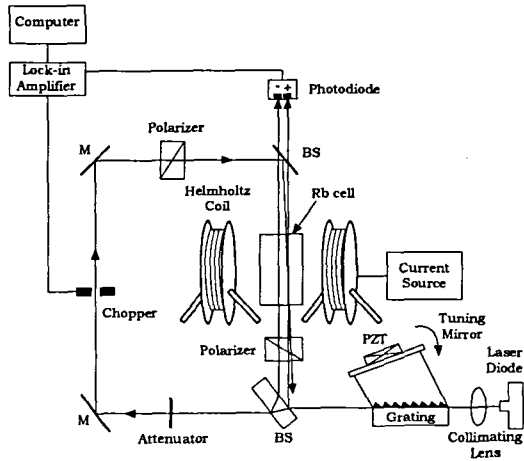


그림 1 Zeeman 효과 측정 실험장치

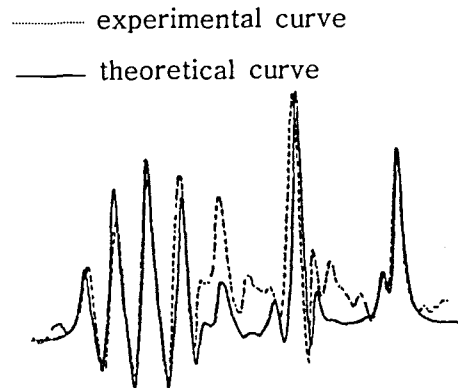


그림 2 자기장에 따른 포화흡수 스펙트럼

이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 약한 자기장하에서 ^{85}Rb D_1 전이선에 대한 주공진선과 교차공진선에서 신호의 크기를 Master Equation을 이용하여 구하고 실험결과와 비교하였다. 이론적인 결과는 수학 프로그램인 Mathematica를 이용하여 Master Equation을 수치적으로 계산하는 방법으로 얻을 수 있었다. 그리고 자기장내에서 에너지 준위 분리에 따른 공진 신호 위치의 이동은 총각운동량이 $J = 1/2$ 인 에너지 준위에서의 해석적인 해인 Breit-Rabi 공식⁽⁵⁾을 자기장에 의한 Hamiltonian 변화로 Master Equation에 포함시켜서 계산하였다.

참고문헌

- [1] R. A. McFalane, W. R. Bennett, Jr., and W. E. Lamb, Jr., Appl. Lett. 2, 189 (1963).
- [2] S. Nakayama, G. W. Series, and W. Gawlik, Opt. Commun. 34, 382 (1980).
- [3] S. Nakayama, J. Opt. Soc. Am. B 2, 1431 (1985).
- [4] Ho Seong Lee, Sang Eon Park, Jong Dae Park, Hyuck Cho, J. Opt. Soc. Am. B/Vol. 11, No. 4, 558 I(1994).
- [5] A. Corney, *Atomic and Laser Spectroscopy* (Claren Press, Oxford, 1977), Chap. 18.

T
C