

리드베리 상수 측정 실험 보고서

서울대학교 전기정보공학부 2018-12432 박정현*
(Dated: October 17, 2023)

Abstract

I. INTROUDCTION

A. 방전관

유전체 양단에 강한 전압을 인가하면 절연파괴 현상이 일어난다. 이때 방전관 내부에 있는 원자들이 전자들을 흡수, 방출하면서 방전관 외부로 광자를 방출하게 된다. 이때 광자는 원자들의 에너지 준위 차이에 해당하는 주파수를 가진다. 이러한 주파수, 혹은 파장에 따른 스펙트럼을 확인하면 원자의 에너지 준위를 분석할 수 있다.

B. 스펙트럼

원자 내부에는 다양한 에너지 레벨이 존재한다. 이러한 에너지 레벨이 충분히 멀리 떨어져 있는 경우 2 level system으로 근사할 수 있다. Ground state, 그리고 상호작용하는 enery level을 모두 고려하면 Fig.과 같이 에너지 레벨을 나타낼 수 있다. 이 때 외부로부터 excite되는 원자들의 비율이 Λ 라고 할 때 아래의 식이 성립한다. 단, ρ_{nm} 은 photon state nm 에 대한 density matrix에 해당한다.

$$\dot{\rho}_{nm} = -\frac{i}{\hbar} \text{Tr}_{atom}[H_I, \rho]_{nm} + (L\rho)_{nm} \quad (1)$$

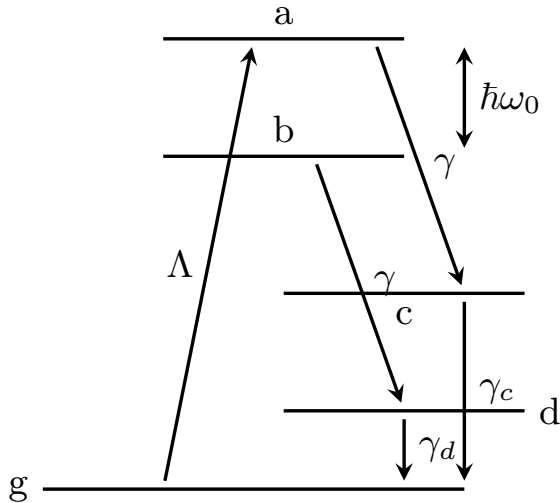


FIG. 1: 방전관에서 광자 방출 diagram

위의 식을 정리하면 아래와 같아진다.

$$\begin{aligned} \dot{\rho}_{nm} = & -\left(\frac{N'_{nm}G}{1 + N_{nm}S/G}\right)\rho_{nm} \\ & + \left(\frac{\sqrt{nm}G}{1 + N_{n-1,m-1}S/G}\right)\rho_{n-1,m-1} \\ & - \kappa(n+m)\rho_{nm} \\ & + 2\kappa\sqrt{(n+1)(n+1)}\rho_{(n+1)(m+1)} \end{aligned} \quad (2)$$

단, 상수들은 아래와 같다.

$$G = N \frac{\Lambda}{\gamma + \Lambda} \frac{2g^2}{\gamma} \quad (3)$$

$$S = \frac{4g^2}{\gamma^2} G \quad (4)$$

$$N'_{nm} = \frac{1}{2}(n+1+m+1) + \frac{(n-m)^2 S}{8G} \quad (5)$$

$$N_{nm} = \frac{1}{2}(n+1+m+1) + \frac{(n-m)^2 S}{16G} \quad (6)$$

$n = m$ 인 경우만 고려하면 $\rho_{nm} = p(n)$ 에 해당한다. $S\langle n \rangle / G \gg 1$ 인 경우를 고려하면 평균 광자수 $\langle n \rangle$ 은 아래와 같아진다.

$$\langle n \rangle \simeq \frac{G}{2\kappa} \left(\frac{G - 2\kappa}{S} \right) \quad (7)$$

$$\simeq N \frac{\Lambda}{\gamma + \Lambda} \frac{2g^2}{2\kappa\gamma} \frac{\gamma^2}{4g^2} \quad (8)$$

$$\simeq N \frac{\gamma}{4\kappa} \quad (9)$$

광자의 방출을 random event로 고려하는 경우 line width는 아래와 같아진다.

$$\Delta\omega \simeq \frac{2\kappa}{\langle n \rangle} \quad (10)$$

Spontaneous decay rate만을 고려하면 γ 는 아래와 같아진다.

$$\gamma \simeq \frac{2e^2\omega_0^2}{3mc^2} \quad (11)$$

따라서 에너지 사이의 간격 ω_0 가 커지는 경우 γ 가 증가하므로 평균 광자수가 증가한다. 또한 평균 광자수가 증가하므로 line width는 이에 비례하여 작아지게 된다.

* alexist@snu.ac.kr

II. REFERENCE

- [1] S.M. Sze, Y. Li, and K.K. Ng, *Physics of Semiconductor Devices* (Wiley-Interscience, Hoboken, , 2021).
- [2] Griffiths, *Introduction to Electrodynamics* (Cambridge University Press, 2017).
- [3] D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, and S.-B. Liao, *Fundamentals of Physics* (Wiley, Hoboken, NJ, 2013).