

## Bitácora 5: Efecto Zeeman

Juana Valeria Pinzón\* and Sergio Laverde\*\*  
Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.

(Dated: 11 de marzo de 2024)

### I. OBJETIVOS

- Observar el Efecto Zeeman normal en Cd. Medir el cambio en longitud de onda. A partir de ahí, medir el campo magnético.
- Observar el Efecto Zeeman anómalo.
- Medir las posiciones de las líneas espectrales que surgen por el campo magnético.
- Interpretar el patrón de líneas.

### II. MARCO TEÓRICO[1]

La división de un nivel de energía en varios niveles en presencia de un campo magnético externo se denomina efecto Zeeman. Este efecto puede ser el denominado efecto Zeeman normal, que es cuando una línea espectral se divide en  $2l + 1$  líneas; o el denominado efecto Zeeman anómalo, que es cuando se divide en más que  $2l + 1$  líneas.

El efecto Zeeman normal surge al considerar al electrón girando al rededor del núcleo como una corriente en una espira circular generando un campo magnético perpendicular al plano de la órbita del electrón. De este modo, se obtiene el átomo como un pequeño imán con momento magnético definido como:

$$\vec{\mu} = I\vec{A} = -\frac{e}{2m_e}\vec{L} = -\mu_B\frac{\vec{L}}{\hbar} \quad (1)$$

Donde  $\mu_B$  se denomina magnetón de Bohr y se define como:

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e}$$

Es conveniente calcular la componente z de este momento magnético como se verá más adelante.

$$\mu_z = -\frac{e}{2m_e}L_z = -\frac{e\hbar}{2m_e}m_l = -\mu_B m_l, \quad m_l = 0, \dots, \pm l$$

En presencia de un campo magnético externo ( $\vec{B}$ ), el átomo experimentará un torque  $\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$  que le tratará de alinear en dirección de  $\vec{B}$ . Por lo tanto, el átomo posee una energía potencial magnética dada por:

$$\vec{U} = -\vec{\mu} \cdot \vec{B} \quad (2)$$

Al ubicar el campo magnético externo ( $\vec{B}$ ) paralelo al eje z, la ecuación (2) puede expresarse de la siguiente forma:

$$U_B = -\mu_z B = \mu_B m_l B \quad (3)$$

Entonces, la energía de un electrón en un nivel  $n$  cualquiera queda expresada como:

$$E_{n,m_l} = E0_n + \mu_B m_l B \quad (4)$$

En donde  $E0_n$  corresponde a la energía en ausencia del campo magnético externo.

El efecto Zeeman anómalo surge cuando, en presencia de un campo magnético  $\vec{B}$ , se considera el espín del electrón, resultando en con momento magnético total de:

$$\begin{aligned} \vec{\mu} &= \vec{\mu}_l + \vec{\mu}_s = -\frac{e}{2m_e}\vec{L} - \frac{e}{m}\vec{S} \\ \vec{\mu} &= -\frac{e}{2m}(\vec{J} + \vec{S}) \end{aligned} \quad (5)$$

Donde  $\vec{J}$  es el momento angular total del electrón. De nuevo, al ubicar el campo magnético externo ( $\vec{B}$ ) paralelo al eje z, se llega a una expresión para la energía potencial magnética:

$$U_{B,m_j} = \frac{e\hbar}{2m}Bgm_j = \mu_B Bgm_j \quad (6)$$

Donde  $g$  se denomina factor de Landé y  $m_j = 0, \dots, \pm j, j = l \pm s$ .

$$g = 1 + \frac{J(J+1) + S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)} \quad (7)$$

\* Correo institucional: j.pinzonr@uniandes.edu.co

\*\* Correo institucional: s.laverdeg@uniandes.edu.co

Entonces, la energía de un electrón en un nivel  $n$  cualquiera queda expresada como:

$$E_{n,m_j} = E0_n + \mu_B B g m_j \quad (8)$$

En donde  $E0_n$  corresponde a la energía en ausencia del campo magnético externo y sin considerar el espín del electrón.

Al derivar  $E = hc/\lambda$  con respecto a  $\lambda$  y despejar  $d\lambda$  se obtiene de forma general:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{hc} \Delta E \quad (9)$$

Que para el caso del efecto Zeeman normal queda:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{hc} \mu_B \Delta m_l B \quad (10)$$

Y para el caso del efecto Zeeman anómalo queda:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{hc} \mu_B B g \Delta m_j \quad (11)$$

### III. MONTAJE Y METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Para la realización de la práctica experimental sobre el efecto Zeeman, se instaló la lámpara de cadmio entre los polos del electroimán y se encendió para obtener el espectro que contiene la línea roja. También se registró una línea de referencia, como la línea de neón de 640 nm, para determinar la dispersión del instrumento.

Luego, se ajustó la corriente del electroimán a un valor de 5-6 amperios y se tomaron dos espectros de la línea roja del cadmio: uno con la luz que sale paralela al campo magnético y otro con la luz que sale perpendicularmente.

Para el efecto Zeeman anómalo, se repitió un procedimiento similar con la lámpara de neón entre los polos del electroimán. Se registró el espectro sin campo magnético y luego se ajustó la corriente del electroimán. Se grabaron dos espectros más: uno con la luz que sale paralela al campo magnético y otro con la luz que sale perpendicularmente.

Además, se tomó el espectro de argón para calibrar la escala. Se tuvo en cuenta que el argón requería más tiempo de exposición que el neón, por lo que se planificó la adquisición de datos en consecuencia.

Estos procedimientos permitieron el análisis posterior del efecto Zeeman normal y anómalo, observando cómo los campos magnéticos afectan los espectros emitidos por las lámparas de cadmio y neón. Los resultados obtenidos proporcionarán información importante

para comprender mejor los fenómenos relacionados con la interacción entre la radiación electromagnética y los campos magnéticos en átomos y moléculas

- 
- [1] R. Thornton. *Modern Physics for scientists and engineers*. Cengage Learning, 4 edition, n.d.