

(1) 根据朗德 g 因子公式 $g_J = 1 + \frac{J(J+1)+S(S+1)-L(L+1)}{2J(J+1)}$:

- 基态 $^2S_{1/2}$:

$$g_{J,\text{基}} = 1 + \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{3}{2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{2} - 0}{2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{2}} = 1 + \frac{1.5}{1.5} = 2$$

- 激发态 $^2P_{1/2}$:

$$g_{J,\text{激}} = 1 + \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{3}{2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{2} - 1 \cdot 2}{2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{2}} = 1 + \frac{1.5 - 2}{1.5} = 1 - \frac{1}{3} = \frac{2}{3}$$

塞曼能移 $\Delta E_Z = m_J g_J \mu_B B$ 。

首先计算 $\mu_B B$:

$$\mu_B B = (5.789 \times 10^{-5} \text{ eV/T}) \times (1.0 \text{ T}) = 5.789 \times 10^{-5} \text{ eV}$$

- 基态 ($E_1 = -3.40 \text{ eV}$) 分裂为:

$$\circ m_J = +\frac{1}{2}:$$

$$E_{1,+} = -3.40 + \left(\frac{1}{2}\right)(2)\mu_B B = -3.40 + \mu_B B \approx -3.399942 \text{ eV}$$

$$\circ m_J = -\frac{1}{2}:$$

$$E_{1,-} = -3.40 + \left(-\frac{1}{2}\right)(2)\mu_B B = -3.40 - \mu_B B \approx -3.400058 \text{ eV}$$

- 激发态 ($E_2 = -1.50 \text{ eV}$) 分裂为:

$$\circ m_J = +\frac{1}{2}:$$

$$E_{2,+} = -1.50 + \left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{2}{3}\right)\mu_B B = -1.50 + \frac{1}{3}\mu_B B \approx -1.499981 \text{ eV}$$

$$\circ m_J = -\frac{1}{2}:$$

$$E_{2,-} = -1.50 + \left(-\frac{1}{2}\right)\left(\frac{2}{3}\right)\mu_B B = -1.50 - \frac{1}{3}\mu_B B \approx -1.500019 \text{ eV}$$

根据选择定则 $\Delta m_J = 0, \pm 1$, 共有 4 种可能跃迁。产生的最大光子能量为:

跃迁 ($\Delta m_J = +1$): $E_{2,+} \rightarrow E_{1,-}$

$$E_\gamma = E_{2,+} - E_{1,-} \approx (-1.499981) - (-3.400058) = 1.900077 \text{ eV}$$

(2) 在外加磁场作用下, 原子的能级会分裂成多个具有不同磁量子数 m_J 的子能级。根据原子物理的**跃迁选择定则**, 电子在不同子能级间的跃迁, 会对应产生不同偏振特性的光子:

- $\Delta m_J = 0$ 的跃迁：产生**线偏振光**（称为 π 偏振），其偏振方向通常与外磁场方向平行。
- $\Delta m_J = \pm 1$ 的跃迁：产生**圆偏振光**（称为 σ^\pm 偏振），其偏振光平面垂直于外磁场方向。

则若要产生线偏振光，只需选取 $\Delta m_J = 0$ 的跃迁产生的光，或选取 $\Delta m_J = \pm 1$ 的跃迁产生的光再使其通过偏振片即可。（言之有理即可）

(3) 在 BB84 协议中，**安全性依赖于量子的不可分割性与测量坍缩特性**。如果使用包含多个光子的弱激光脉冲，窃听者 (Eve) 可实施**光子数分割攻击**：

Eve 截获多光子脉冲后：

1. **偷走一个光子**进行测量获取密钥信息
2. **无扰动传递剩余光子**给接收方 (Bob)

这将导致 Eve 的窃听行为没有改变 Bob 最终要测量的那个光子，因此 Alice 和 Bob 在后续的安全检测中将无法发现错误，也就无法察觉到 Eve 的存在。

使用单光子时，根据**量子不可克隆原理**：

任何窃听测量 \Rightarrow 光子状态坍缩 \Rightarrow 可检测的干扰

因此，**必须使用不可再被分割的单个光子**。这保证了任何窃听行为都必须针对这唯一的光子进行，从而必然留下可被检测到的干扰痕迹，协议的安全性才得以保证。