

塞曼效应

复旦大学物理系近代物理实验口头报告

何懿娇 张轩 董继饶

复旦大学核科学与技术系

2023 年 12 月 18 日



復旦大學

FUDAN UNIVERSITY

Table of Contents

1 塞曼效应和汞原子光谱

2 实验仪器

3 数据处理

4 参考文献

原子能级

除了原子核的有心势之外，还要轨道自旋耦合效应，这个效应在哈密顿量中增加了一个正比与 $\mathbf{L} \cdot \mathbf{S}$ 的项，导致了精细结构能级分裂。

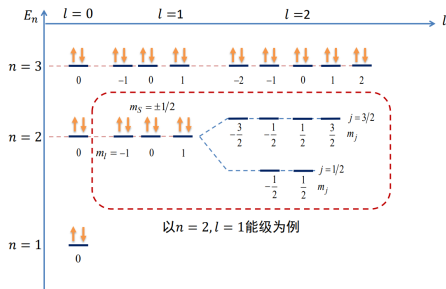


图 1: 氢原子精细结构

当然，进一步考虑原子核的自旋，会产生超精细结构，但是我们实验中的 Hg 原子只考虑精细结构的 Zeeman 分裂。

Zemann 效应

Zeeman 效应指的是原子能级在外加弱磁场的条件下进一步分裂的现象。我们可以看到之前在讨论精细结构的过程中（包括超精细结构也是相同的），使用了角动量耦合，最终的能级只确定到总角动量的大小。

加入了外磁场之后，总角动量相同而沿着磁场方向分量不同的能级会获得不同的磁场能量，进而产生 Zeeman 分裂。

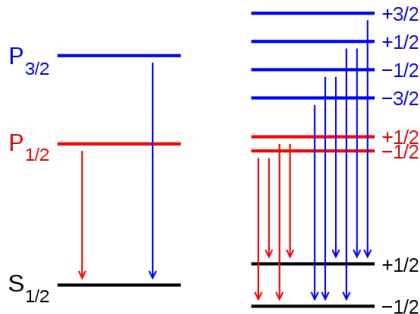


图 2: 氢原子的精细 Zeeman 分裂

为了确定分裂后的能级间距到底是多少，我们需要讨论总角动量的合成磁矩。

一个重要的常数是波尔磁矩

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e} = 9.27 \times 10^{-24} \text{ JT}^{-1}$$

电子的轨道磁矩为

$$\vec{\mu}_L = -\mu_B g_L \frac{\mathbf{L}}{\hbar}, g_L = 1$$

电子的自旋磁矩为

$$\vec{\mu}_S = -\mu_B g_S \frac{\mathbf{S}}{\hbar}, g_S = 2.00$$

考虑电子的自旋轨道耦合以及磁矩的合成

$$\begin{aligned}\vec{\mu} &= -\mu_B g_J \frac{\mathbf{J}}{\hbar}, \vec{\mu}_L = -\mu_B g_L \frac{\mathbf{L}}{\hbar}, \vec{\mu}_S = -\mu_B g_S \frac{\mathbf{S}}{\hbar} \\ \vec{\mu} &= \vec{\mu}_L + \vec{\mu}_S \\ \mathbf{J} &= \mathbf{L} + \mathbf{S}\end{aligned}$$

由于存在 g 因子的差异, \mathbf{J} 的方向和 $\vec{\mu}$ 的方向并不相同, 实际起作用的是 $\vec{\mu}$ 中平行与 \mathbf{J} 的分量。于是

$$g_J = g_S \frac{j(j+1) + s(s+1) - l(l+1)}{2j(j+1)} + g_L \frac{j(j+1) + l(l+1) - s(s+1)}{2j(j+1)}$$

Hg 原子的 Zeeman 效应

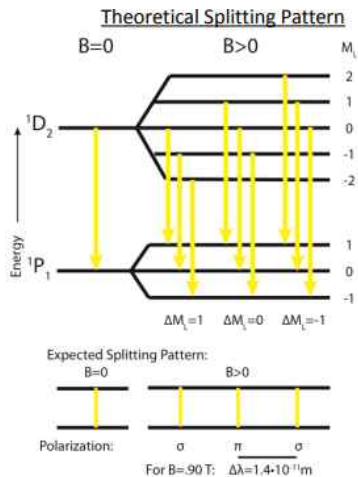


图 3: Hg 原子某一种能级的 Zeeman 效应 [1]

光子和跃迁

原子中的电子从一个能级跨越到另一个能级，发出光子的过程称为跃迁(辐射)。

光子是自旋为 1 的基本粒子，其自旋分量为 $-1, 0, 1$ 。选定量子化轴后，我们称自旋分量为 $+1$ 的为 σ^+ 光，自旋为 0 的为 π 光，自旋为 -1 的是 σ^- 光，它们的电矢量 E 的情况如图4中的蓝色箭头所示。

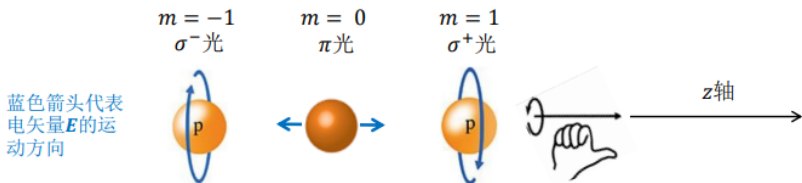


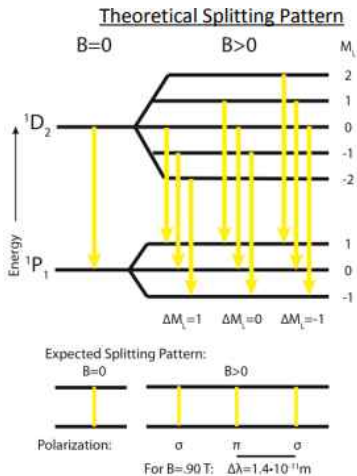
图 4: 三种光子

光子的角动量分量只能是 $0, \pm 1$ ，这也说明放出光子的过程，为了保证角动量守恒，前后系统的角动量分量只差只能是 $0, \pm 1$ ，对应选择定则 $\Delta m = 0, \pm 1$

若放出的是 σ^+ 光，可以进一步确定跃迁定则为 $\Delta m = -1$ 。对放出另外两种光的情况同理。

Hg 原子跃迁光谱

回到之前看到的图中



最左侧是无外磁场时候的光谱，右边依次是 σ^- , π , σ^+ 光子。

这就解释了为什么原本是一条谱线,增加外磁场后变成了9条谱线,然后增加偏振片之后,分别消去 σ^+ , σ^- 光和 π 光。图6解释得更为清晰。

图 5: Hg 原子的 Zeeman 效应 [1]

Table of Contents

1 塞曼效应和汞原子光谱

2 实验仪器

3 数据处理

4 参考文献

Table of Contents

1 塞曼效应和汞原子光谱

2 实验仪器

3 数据处理

4 参考文献

Table of Contents

1 塞曼效应和汞原子光谱

2 实验仪器

3 数据处理

4 参考文献

参考文献

- [1] Casey Wall.
The zeeman effect in mercury.
https://soundideas.pugetsound.edu/summer_research/83, 2011.
- [2] Wikipedia contributors.
Mercury (element) — Wikipedia, the free encyclopedia, 2023.
[Online; accessed 18-December-2023].
- [3] 复旦大学物理系.
塞曼效应实验讲义.
<http://phylab.fudan.edu.cn/lib/exe/fetch.php?media=exp:%E5%A1%9E%E6%9B%BC%E6%95%88%E5%BA%94%E5%AE%9E%E9%AA%8C%E8%AE%B2%E4%B9%89.pdf>, 2023.
- [4] 朱伟玲.
关于塞曼谱线的偏振性的解释.
重庆教育学院学报, 03:47–49, 2001.
- [5] 朱振和.
塞曼谱线的偏振特性.
大学物理, 22(9):21, 2003.
- [6] 林福忠.
塞曼谱线的成分和成分分析.
龙岩学院学报, 03:25–27, 2006.
- [7] 维基百科.
汞的同位素 — 维基百科, 自由的百科全书, 2023.

Thanks!